

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

ХАРКІВСЬКА НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ МІСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА

В.Ф. Харченко, В.Г. Воропай

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

ДО ВИКОНАННЯ ЛАБОРАТОРНИХ РОБІТ З КУРСУ

"ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ МІСТ І ПРОМИСЛОВИХ ПІДПРИЄМСТВ"

*(для студентів 4 -5 курсів денної і заочної форм навчання
за напрямом підготовки 0906 (6.050701) Електротехніка
спеціальності 7.090603, 8.090603 Електротехнічні системи
електроспоживання)*

Харків – 2009

Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт з курсу "Електропостачання міст і промислових підприємств" (для студентів 4 - 5 курсів денної і заочної форм навчання за напрямом підготовки 0906 (6.050701) Електротехніка спеціальності 7.090603, 8.090603 Електротехнічні системи електроспоживання / В.Ф. Харченко, В.Г. Воропай; Харк. нац. акад. міськ. госп-ва. – Х.: ХНАМГ, 2009. – 68с.

Рекомендовано на кафедрі "Електропостачання міст",
протокол № 3 від 3.11.2009р.

Укладачі: *д.т.н. В.Ф. Харченко, В.Г. Воропай*

Рецензент: *д.т.н. О.Г. Гриб*

ЗМІСТ

Загальні вказівки до виконання лабораторних робіт.....	4
Лабораторна робота № 1. ЯКІСТЬ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ. НЕСИНУСОЇДАЛЬНІСТЬ НАПРУГИ В ПРОМИСЛОВИХ МЕРЕЖАХ І ВПЛИВ ЇЇ НА РОБОТУ ЕЛЕКТРОПРИЙМАЧІВ.....	5
Лабораторна робота № 2. ЯКІСТЬ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ. КОЕФІЦІЄНТ НЕСИНУСОЇДАЛЬНОСТІ КРИВОЇ НАПРУГИ. СТАТИСТИЧНА ОБРОБКА РЕЗУЛЬТАТІВ.....	13
Лабораторна робота № 3. КОНТРОЛЬ ЯКОСТІ НАПРУГИ В РОЗПОДІЛЬЧИХ ЕЛЕКТРИЧНИХ МЕРЕЖАХ.....	17
Лабораторна робота № 4. ВИКОРИСТАННЯ Й АНАЛІЗ МЕТОДІВ РОЗРАХУНКУ ЕЛЕКТРИЧНИХ НАВАНТАЖЕНЬ ПРОМИСЛОВОГО ПІДПРИЄМСТВА.....	25
Лабораторна робота № 5. ВИБІР КОМПЕНСУЮЧОЇ ПОТУЖНОСТІ ДЛЯ НАВАНТАЖЕННЯ Й ДОСЛІДЖЕННЯ ЇЇ ВПЛИВУ НА ВТРАТИ ПО- ТУЖНОСТІ В СИСТЕМАХ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ.....	35
Лабораторна робота № 6. ВИЗНАЧЕННЯ РАЦІОНАЛЬНОГО МІСЦЕ-РОЗТАШУВАННЯ ГОЛОВНОЇ ПОНИЖУЮЧОЇ ПІДСТАНЦІЇ (ГПП) НА ТЕРИТОРІЇ ПРОМИСЛОВОГО ПІДПРИЄМСТВА.....	42
Лабораторна робота № 7. ЗАЗЕМЛЮЮЧІ ПРИСТРОЇ І ВИМІР ОПОРУ ЗАЗЕМЛЮВАЧІВ.....	51
Лабораторна робота № 8. ВИЗНАЧЕННЯ ОПОРУ ПЕТЛІ ФАЗА-НУЛЬ І СТРУМІВ ОДНОФАЗНОГО КОРОТКОГО ЗАМИКАННЯ В МЕРЕЖАХ НАПРУГОЮ ДО 1000 В.....	59
Список літератури	67

ЗАГАЛЬНІ ВКАЗІВКИ ДО ВИКОНАННЯ ЛАБОРАТОРНИХ РОБІТ

Для успішного виконання лабораторних робіт методичні вказівки і рекомендовану літературу студенти повинні пропрацювати заздалегідь, тобто до приходу на заняття. При виконанні лабораторних робіт необхідно строго дотримувати наступних правил безпеки:

- Перед збиранням схеми переконатися, що вимикачі, якими подається напруга, відключені.
- Після збирання схеми ще раз переконатися у правильності всіх з'єднань, звіривши їх з принциповою схемою. Запам'ятати, які відкриті частини схеми або апаратів знаходяться під напругою.
- Включити апаратуру під напругу тільки після перевірки зібраної схеми керівником і з його дозволу.
- Не торкатися струмопровідних частин, що знаходяться під напругою.
- Всі приєднання приладів і зміни схем проводити тільки після відключення апаратури від джерел живлення.
- При виникненні несправності приладів і устаткування негайно відключити апаратуру і прилади від джерел живлення і доповісти про несправність керівникові.
- Особливу обережність проявляти при роботі з ланцюгами, що містять конденсатори і котушки з великим числом витків.
- Після закінчення робіт відключити апаратуру, розібрати схему і здати робоче місце керівникові.

До виконання лабораторних робіт студенти допускаються після ознайомлення з правилами техніки безпеки. Всі розрахунки, записи показань приладів, ескізи приладів і схем, технічні дані приладів заносять в робочий зошит - один для всієї бригади. Робота вважається виконаною, якщо всі записи перевірені і завізовані керівником. Звіт повинен бути складений відповідно до методичних вказівок з оформлення звітів лабораторних робіт.

Лабораторна робота № 1

ЯКІСТЬ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ. НЕСИНУСОЇДАЛЬНІСТЬ НАПРУГИ В ПРОМИСЛОВИХ МЕРЕЖАХ І ВПЛИВ ЇЇ НА РОБОТУ ЕЛЕКТРОПРИЙМАЧІВ

1.1. Мета роботи

Вивчення основних показників якості електричної енергії і закріплення практичних навичок з розрахунку і вимірювання за допомогою сучасних приладів.

1.2. Загальні відомості

Дотримання енергопостачаючими організаціями та електроприймачами показників якості електричної енергії дозволяє не тільки економити паливно-енергетичні ресурси, але й інші види матеріальних ресурсів, частина яких при низькому рівні якості електроенергії витрачається на продукцію, що бракується і утилізується.

Відповідно до ДСТУ показники якості електроенергії (ПЯЕ) розподіляються на дві групи: основні ПЯЕ й додаткові ПЯЕ. Основні ПЯЕ визначають властивості електричної енергії, що характеризують її якість. Додаткові ПЯЕ являють собою форми запису основних ПЯЕ, що використовуються в інших нормативно-технічних документах.

До основних ПЯЕ відносяться:

- відхилення напруги δU ;
- розмах зміни напруги δU_i ;
- доза коливань напруги Ψ ;
- коефіцієнт несинусоїдальності кривої напруги $K_{НСU}$;
- коефіцієнт n – гармонічної складової $K_{U(n)}$;
- коефіцієнт зворотної послідовності напруги K_{2U} ;
- коефіцієнт нульової послідовності напруги K_{0U} ;

- відхилення частоти Δf ;
- тривалість провалу напруги Δt_n ;
- імпульсна напруга U_{imp} .

До додаткових ПЯЕ відносяться:

- коефіцієнт амплітудної модуляції K_{mod} ;
- коефіцієнт небалансу міжфазних напруг $K_{неб}$;
- коефіцієнт небалансу фазних напруг $K_{небф}$;

Значення ПЯЕ в нормальному режимі роботи електричної мережі повинні не виходити за межі максимальних значень, що вказані ДСТУ, при цьому протягом не менше 95% часу кожної доби значення ПЯЕ повинні не виходити за межі нормальних значень. Так, для мережі напругою до 1 кВ, відхилення напруги, %, максимальне - ± 10 , нормальне - ± 5 . Коефіцієнт несинусоїдальності, %, не більше в електричній мережі напругою:

	Допустиме значення	
	нормальне	максимальне
До 1 кВ	5	10
6 – 20 кВ	4	8
35 кВ	3	6
110 кВ і вище	2	4

1.3. Несинусоїдальність напруги

Несинусоїдальність напруги характеризується наявністю крім гармоніки напруги основної частоти $U_{(1)}$ гармонік U_ν інших вищих частот, кратних основній частоті ($\nu = 2, 3, 4 \dots \infty$), звичайно визначуваних розкладом кривої фактичної напруги в ряд Фур'є. Несинусоїдальність напруги характеризується коефіцієнтом несинусоїдальності напруги і коефіцієнтом ν -ї гармонічної.

Коефіцієнт несинусоїдальності кривої напруги $K_{НСУ}$ обчислюється:

$$K_{HCU} = 100\% \sqrt{\sum_{v=2}^N U_v^2} / U_{ном}, \quad (1.1)$$

де U_v - діюче значення v -ї гармонічної складової напруги, В, кВ; v - порядок гармонічної складової напруги; N - порядок останньої з врахованих гармонічних складових напруги; $U_{ном}$ - номінальна напруга мережі, В, кВ.

При визначенні даного ПЯЕ допускається:

- 1) не враховувати гармонічні складові порядку $v > 40$ і (або) значення яких менше 0,3;
- 2) визначати даний ПЯЕ з рівняння:

$$K_{HCU} = 100\% \sqrt{\sum_{v=2}^N U_v^2} / U_{(1)}, \quad (1.2)$$

де $U_{(1)}$ - діюче значення напруги основної частоти, В, кВ.

Коефіцієнт v -ї гармонічної складової напруги визначається з виразу

$$K_{U(v)} = 100\% U_v / U_{ном}, \quad (1.3)$$

де U_v - діюче значення v -ї гармонічної складової напруги, В, кВ; $U_{ном}$ - номінальне значення напруги мережі, В, кВ.

Допускається визначати даний ПЯЕ з виразу

$$K_{U(v)} = 100\% U_v / U_{(1)}, \quad (1.4)$$

де $U_{(1)}$ - діюче значення напруги основної частоти, В, кВ.

1.4. Процеси, що викликають несинусоїдальність напруги в промислових мережах

Джерелами гармонічних викривлень в електричних системах є в основному, навантаження, що мають нелінійні характеристики: дугові сталеплавильні печі; вентильні перетворювачі; трансформатори з нелінійними вольт-амперними характеристиками; перетворювачі частоти; індукційні печі; електричні машини, що обертаються, які живляться через вентильні перетворювачі;

телевізійні приймачі; люмінесцентні лампи; ртутні лампи.

У табл. 1.1 наведені характеристики деяких джерел викривлень.

Таблиця 1.1. - Характеристики деяких характерних джерел викривлень.

№ п/п	Тип ЕП	U , кВ	K_{HCU} , %
1.	Дугові сталеплавильні пічі (ДСП-100)	220	2,5
		35	8-10
2.	ДСП-40	110	2,1
		35	7,8
3.	Прокатний стан 1700	10	13,2
4.	Випрямлячі електролізних установок	10	8,3-12
		0,38	6-8
5.	Приводи потужних насосів	6	6-9
6.	Зварювальне обладнання	0,38	7-8

1.5. Вплив несинусоїдальності на напругу роботи електроприймачів

Поява струму гармоніки з порядковим номером $\nu > 1$ виявляється поверхневим ефектом (витискання струму до поверхні провідника), що призводить до додаткових втрат тепла, нагрівання ізоляції ЕП й апаратів в електричній мережі й зниження їх строку служби. Так, струм витоку в кабелях зростає пропорційно тривалості їх роботи в умовах підвищеного значення K_{HCU} . Через 2,5 роки при $K_{HCU} = 6-8\%$ струм витоку кабелю збільшується на 36%, а через 3,5 роки - вже на 43%.

Проникнення вищих гармонік в мережу призводить до порушень роботи пристроїв телемеханіки, автоматики, релейного захисту. В мережі можливе також виникнення резонансних режимів на вищих гармоніках, при цьому різко зростають струми й напруги на окремих ділянках мережі.

Розрахункові вирази для додаткових втрат, що виникають в електрообладнанні через несинусоїдальність напруги, мають такий вигляд :

1) для асинхронних двигунів:

$$\Delta P_{ad} = \Delta P_{m1ном} I_n^2 \sum_{v=3}^{\infty} \dot{U}_v^2 \frac{\sqrt{v} + \sqrt{v \pm 1}}{v^2} \quad (1.5)$$

де $\Delta P_{m1ном}$ – втрати в міді статора при номінальному струмі основної частоти; I_n – кратність пускового струму при номінальній напрузі основної частоти; $\dot{U}_v = U_v / U_{ном}$ – відносне значення напруги v -ї гармоніки.

Плюс під знаком кореня у вищенаведеному виразі відповідає гармонікам, що створюють поле обертання, зустрічне полю основної частоти, а мінус – гармонікам, що створюють поля обертання, побіжне полю основної частоти;

2) для синхронних машин (СМ) додаткові втрати в роторі:

$$\Delta P_p = \frac{\sqrt{2}(r_2 - r_{cm})}{R_x X_2^2} P_{ном} \sum_{v=2}^{\infty} \frac{U_v^2}{v \sqrt{v}}, \quad (1.6)$$

де r_2 , x_2 – активний і реактивний опір зворотної послідовності СМ; r_{cm} – активний опір статора; R_k – коефіцієнт, який дорівнює 0,71 для явнополюсних машин і 0,88 – для неявнополюсних.

Додаткові втрати в статорі СМ від вищих гармонік:

$$\Delta P_{cm} = K_{cm} P_{ном} \sum_{v=2}^{\infty} \frac{U_v^2}{v \sqrt{v}}, \quad (1.7)$$

де $K_{cm} = \frac{0,47 P_{мном}}{R_x X_2^2 P_{ном}}$ – коефіцієнт, що враховує втрати в міді обмотки від стру-

му основної частоти, а також глибину проникнення струму в провідник;

3) для силових трансформаторів:

$$P_{mp} = \Delta P_x \sum_{v=2}^{\infty} U_v^2 + 0,607 \frac{\Delta P_k}{U_k} \sum_{v=2}^{\infty} \frac{1 + 0,05 v^2}{v \sqrt{v}} U_v^2, \quad (1.8)$$

де ΔP_k , $\Delta P_{кз}$, U_k – розрахункові дані трансформатора;

4) для лінії електропередачі:

$$P_{ЛЕП} = 3 \sum_{v=2}^{\infty} I_v^2 r K_{rv}, \quad (1.9)$$

де K_{rv} – коефіцієнт, що враховує вплив поверхневого ефекту ($K_{rv} \approx 0,47 \sqrt{v}$).

1.6. Засоби вимірювання несинусоїдальності напруги

Виміри показників несинусоїдальності напруги мережі здійснюють аналізатором гармонік електричної мережі 43250. Він контролює: коефіцієнт несинусоїдальності кривої напруги; відносні рівні кожної з тридцяти дев'яти вищих гармонік напруги від другої до сорокової, відносно номінального значення дослідної напруги основної частоти; відносні рівні кожної з тридцяти дев'яти вищих гармонік струму від другої до сорокової відносно до нормованого максимального значення дослідного струму основної частоти; фази струму і напруги кожної з тридцяти дев'яти вищих гармонік, від другої до сорокової, виміри виконують у градусах фази гармоніки, що аналізується.

1.6.1. Порядок роботи:

1. Включити кнопку “ U ”
2. Подати сигнал на рознімання “ U ”
3. Встановити обраний режим роботи за допомогою кнопок K_{nc} , A_r або φ_r .
4. При вимірюванні K_{nc} необхідно встановити діапазон вимірювань (0-40, 0-20, 0-10, 0-5%).

Діапазон вимірювання обирають виходячи з рівня вимірюваного параметру. На перевантаження, при не правильно обраному діапазоні вимірювання, вказує миготіння цифрового індикатора або перевищення показань цифрового індикатора максимально крайнього значення обраного діапазону вимірювань.

5. При вимірюванні відносного рівня гармонік напруги необхідно встановити номер вимірюваної гармоніки і діапазон вимірювання (0-40, 0-20, 0-10, 0-5%).

6. При вимірюванні фази гармоніки напруги (φ_r) необхідно встановити номер вимірюваної гармоніки і діапазон вимірювань (0-40, 0-20, 0-10, 0-5%).

7. При вимірюванні параметрів струмів електричної мережі (A_r , φ_r) потрібно включити кнопку “ I ”

8. Подати сигнал на рознімання “ I ”. Сигнал на аналізатор подається через шунт, що входить у комплект поставки.

9. Встановити обраний режим роботи за допомогою кнопок A_r або ϕ_r .

10. При вимірюванні відносного рівня гармонік або фази гармоніки струму необхідно встановити номер гармоніки і діапазон вимірювань.

1.7. Порядок виконання роботи

За вказівкою викладача потрібно підключити одне з навантажень на стенді: тиристорний регулятор (ТР), нелінійне навантаження (НН); вентиляний перетворювач (ВП) до джерела живлення ДЖ.

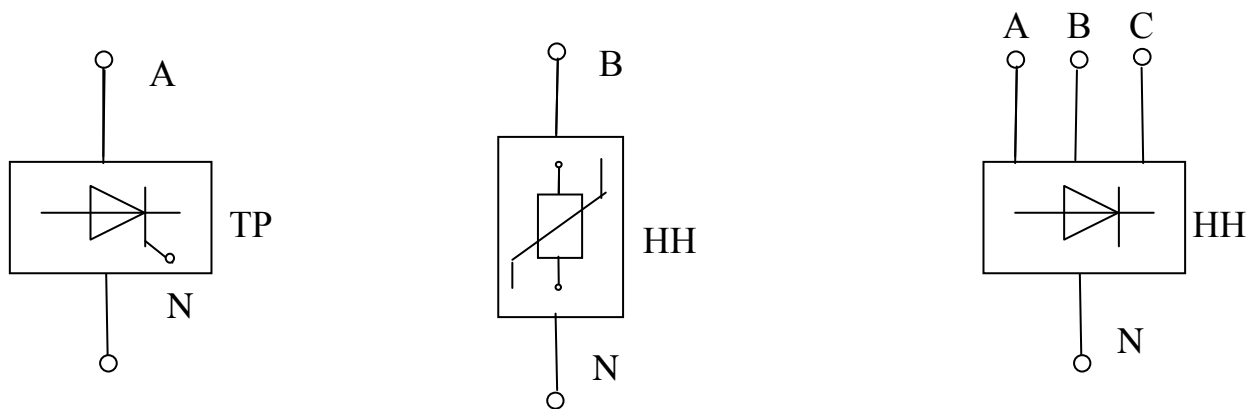


Рис. 1.1. – Навантаження, що використовується в лабораторній роботі

Підключивши аналізатор гармонік, наприклад, до виходу тиристорного регулятора, на вхід “ U ”, вимірюють по чергові коефіцієнт несинусоїдальності кривої напруги і відносні значення кожної з тридцяти дев’яти гармонік. За вказівкою викладача кількість дослідних гармонік може бути зменшена до 13.

Показники прибору записати в табл. 1.2.

Таблиця 1.2. - Показники приладу

Величина, що вимі- рюється	Номер гармоніки, ν													
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
$K_{нс}$														
$K_{U(\nu)} A_r$														
$(I_\nu) U_\nu$														

Вимірювання несинусоїдальності напруги проводять для різноманітних кутів регулювання напруги регулятора ($\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$). Кут регулювання задається викладачем.

Для отриманих значень розрахувати додаткові втрати в трансформаторі при живленні несинусоїдальним навантаженням за виразом (1.8). Вихідні дані для розрахунку використовувати з табл. 1.3.

Таблиця 1.3. - Вихідні дані для розрахунку

Тип і потужність трансформатора	Напруга, кВ	$\Delta P_{к.з.}$, кВт	$\Delta P_{х.х.}$, кВт	$U_{к.з.}$, %
ТМ-630	10/0,4	7,6	2,27	5,5
ТМ-1000	10/0,4	11,6	3,3	5,5
ТМ-1600	10/0,4	16,5	4,5	5,5
ТМ-2500	10/0,4	23,5	6,2	5,5

Потужність трансформатора вказується викладачем.

1.8. Оформлення звіту

Звіт повинен вміщувати параметри вимірювань однієї з включених навантажень за вказівкою викладача.

Розрахункові дані по додаткових втратах трансформатора при живленні несинусоїдальною напругою, потужність трансформатора, що використовується, вказуються також викладачем. Висновки повинні вміщувати аналіз отриманих результатів, способи й методи покращення якості напруги.

Контрольні запитання

1. На які групи діляться ПЯЕ?
2. Назвіть основні ПЯЕ?
3. Як визначається несинусоїдальність кривої напруги?
4. Як впливає несинусоїдальність напруги на роботу окремих електроприймачів?
5. Які параметри вимірює аналізатор гармонік електричної мережі?

Лабораторна робота № 2

ЯКІСТЬ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ. КОЕФІЦІЄНТ НЕСИНУСОЇДАЛЬНОСТІ КРИВОЇ НАПРУГИ. СТАТИСТИЧНА ОБРОБКА РЕЗУЛЬТАТІВ

2.1. Мета роботи

Ознайомлення з практичною обробкою одного з основних показників якості електричної енергії.

2.2. Загальні відомості

Значення показників якості електроенергії, що встановленні ГОСТ 13109-87, в нормальному сталому режимі не повинні виходити за нормальні значення протягом 95% часу кожної доби і за максимальні значення протягом 5% часу доби. Значення для коефіцієнта несинусоїдальності наведені в лабораторній роботі № 1. Виміряти ПЯЕ й час їх зміни можна, але робота ця дуже стомлює і дає великі помилки. Однак якщо розглянути цей процес як випадковий, можна, користуючись методом теорії ймовірностей і математичної статистики, одержати об'єктивну характеристику зміни ПЯЕ.

Дискретне значення ПЯЕ вимірюють на кінцевому інтервалі часу (одна доба) і таким чином одержують кінцеве число таких вимірів n , кожне з яких розглядається як випадкова величина K_i . Якщо кількість вимірів n було одержано m разів так, що $K_{i1} \leq K_i \leq K_{i2}$, то вірогідність такої події дорівнює:

$P_{(K_i)} = m / n$, а при оцінюванні ПЯЕ вірогідність можна розрахувати у відсотках:

$$P_{(K_i)} \% = (m / n) 100\% . \quad (2.1)$$

При оцінюванні показників якості електричної енергії звичайно використовують функції, що мають три види розподілу: рівномірний, нормальний й експоненціальний.

Якщо функція має рівномірний розподіл на інтервалі $[a, b]$, то її щільність ймовірності в середині цього інтервалу постійна, а поза ним дорівнює нулю.

Такий розподіл можливий лише для режимів, що практично не змінюються за часом, а функція має вигляд

$$f(x) = \frac{1}{(b-a)}.$$

Функція має нормальне розподілення (розподілення Гаусса), якщо її щільність ймовірності має вигляд:

$$f(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} e^{-(x-a)^2/(2\sigma^2)}, \quad (2.2)$$

де a и σ - параметри розподілу. Параметр a – точка, через яку проходить вісь симетрії, а σ - відстань від цієї точки до точки перегину. Якщо σ мала, то крива висока і загострена, якщо велика – то вона широка й пласка (рис. 2.1). Таким розподілом звичайно характеризуються зміни відхилень напруги.

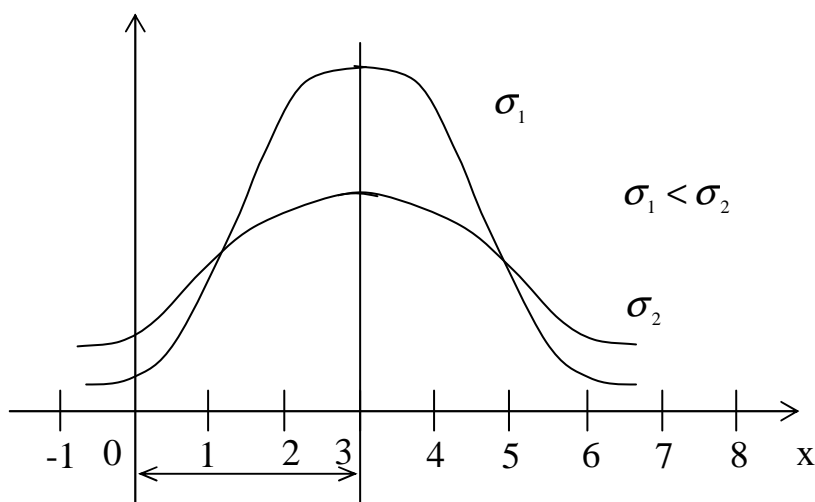


Рис. 2.1 – Нормальний розподіл щільності ймовірності

Функція має експоненціальний розподіл, якщо її щільність ймовірності має вигляд (рис. 2.2):

$$f(x) = \begin{cases} \lambda e^{-\lambda x} & \text{при } x \geq 0 \\ 0 & \text{при } x < 0 \end{cases} \quad (2.3)$$

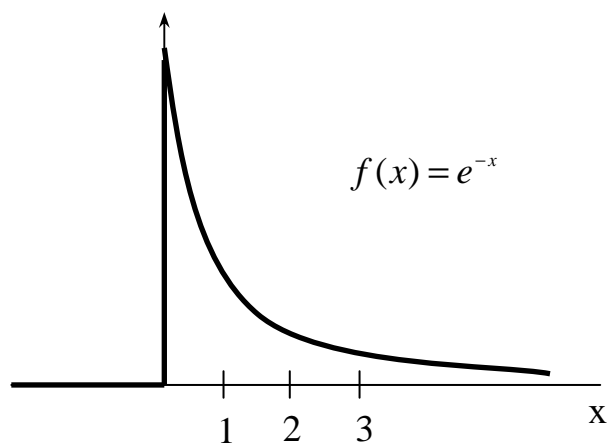


Рис. 2.2. - Експоненціальний розподіл щільності ймовірності

Математичне очікування визначає положення центру ваги розподілу маси, яке задається щільністю розподілу маси $f(x)$:

$$MX = \int_{-\infty}^{+\infty} xf(x) dx \quad (2.4)$$

тому для рівномірного розподілу:

$$MX = \int_a^b x \frac{1}{b-a} dx = \frac{b+a}{2} \quad (2.5)$$

для нормального розподілу:

$$MX = a \quad (2.6)$$

для експоненціального розподілу:

$$MX = 1/\lambda \quad (2.7)$$

Користуючись властивостями безлічей, встановлених теорією ймовірностей, оперують з так званими вибірками. Вибірki являють собою випадкові величини, обрані за визначеною ознакою. Так, з безлічі вимірів напруги можна зробити вибірку тільки тих, що характеризуються відхиленням напруги або тільки несинусоїдальністю.

2.3. Порядок роботи

Ознайомитись з роботою приладу “Аналізатор гармонік електричної мережі 43250” за п. 1.6.1 в лабораторній роботі № 1.

За вказівкою викладача підключити одне з навантажень на стенді. Підключити аналізатор до виходу навантаження й підготувати прилад до роботи. Робимо розбивку інтервалу виміру на 10 й підраховуємо число m , що лежать в кожному інтервалі. Таблицю спостережень зводимо в таблицю вимірів.

Таблиця 2.1 - Виміри K_{HC} в системі електропостачання

№ інтервалу	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$K_{HCU}, \%$	0-1	1-2	2-3	3-4	4-5	5-6	6-7	7-8	8-9	9-10
$P_{KHCU}, \%$										

Ймовірність $P_{KHCU}, \%$ визначаємо з виразу (2.1). Знаходимо математичне очікування за виразом

$$MX = \sum_i K_{HCU_i} P_{KHCU_i}. \quad (2.8)$$

2.4. Оформлення звіту

Звіт повинен містити заповнену табл.. 2.1 і побудовану за нею гістограму розподілу ймовірностей замірів з відміткою на ній математичного очікування.

Висновки.

Контрольні питання:

1. Які методи використовують при контролі якості електричної енергії?
2. Як здійснюють побудову таблиці спостережень?
3. Як побудувати гістограму розподілу ймовірностей замірів K_{HC} ?

Лабораторна робота № 3

КОНТРОЛЬ ЯКОСТІ НАПРУГИ В РОЗПОДІЛЬЧИХ ЕЛЕКТРИЧНИХ МЕРЕЖАХ

3.1. Мета роботи

Ознайомлення з методами статистичного контролю якості напруги і набуття практичних навичок використання статистичного аналізатора якості напруги САКН-1.

3.2. Загальні відомості

Нормальна робота електроприймачів забезпечується при наявності на їх затискачах встановленої напруги. Будь-яке відхилення напруги від цього значення, яке називається номінальною напругою приймача, позначається негативно на роботі приймачів і призводить, в кінці кінців, до народногосподарського збитку. У зв'язку з цим ГОСТ 131099-87* встановлює межі припустимих відхилень напруги, які виражаються у відсотках номінальної напруги.

Припустимий рівень напруги забезпечується раціональною побудовою мережі і вибором її параметрів, а також відповідним регулюванням напруги на шинах джерела живлення або застосуванням місцевих засобів регулювання напруги.

Для розробки графіка або закону регулювання напруги в процесі експлуатації мережі повинен виконуватись систематичний контроль напруги в мережі. Такий контроль полягає періодичному вимірі напруги на збірних шинах 0,38 кВ ТП, на вводах в житлові будинки і до споживачів; вимірі напруги в контрольних точках мережі; веденні карт напруги й перевірці виконання заданого графіка напруги на шинах джерел живлення.

Вимір напруги в контрольних точках виконують реєструючими вольтметрами або статистичними аналізаторами.

У лабораторній роботі розглядаються питання дослідження зміни напру-

ги в контрольних точках за допомогою статистичного аналізатора якості напруги типу САКН-1. Вказаний прилад фіксує число відхилень напруги від номінальної або будь-якого середнього значення в заданих інтервалах через рівні проміжки часу за весь період виміру. Діапазон вимірюваних відхилень напруги розбитий на вісім інтервалів, ступенями через 2,5%. Регулювання часу – в межах від 10 до 150 с.

При статистичній обробці знаходять середнє значення відхилення напруги (математичне очікування) у відсотках, а також дисперсії або стандарту, які характеризують розкид відхилень напруги крім середнього значення. Для приладу САКН-1 середнє значення знаходять за формулою

$$V = V_0 + \Delta V * A. \quad (3.1)$$

Тут V_0 – значення відхилення напруги для середини нульового інтервалу, %;

ΔV – ширина інтервалу, %;

A – проміжний коефіцієнт,

$$A = \sum_{i=1}^{\infty} P_i \omega_i, \quad (3.2)$$

де P_i і ω_i - відповідно ймовірність і умовний номер інтервалу.

Ймовірність кожного вимірюваного значення відхилення напруги (P_i) визначається як відношення числа спрацьовувань в межах кожного інтервалу до загального числа спрацьовувань приладу:

$$P_i = \frac{n_i}{\sum_{i=1}^k n_i}. \quad (3.3)$$

За нульовий інтервал приймають найбільш близький до середини гістограми. Цьому інтервалу присвоюється номер 0. Інші інтервали отримують умовні номери: зліва – негативні, справа – позитивні, що збільшуються на одиницю.

Згідно з ГОСТ 13109-87*, сумарна ймовірність знаходження відхилень напруги в припустимих межах повинна складати не менше 0,95.

Сума ймовірностей відхилення напруги в заданих припустимих межах визначається як сума ймовірностей відхилень напруги в інтервалах, розташованих в заданому діапазоні.

Припустимий діапазон відхилень напруги в контрольній точці повинен визначатись залежно від припустимого відхилення напруги на затискачах електроприймачів, з урахування втрат напруги у живильних лініях 0,38 кВ. У результаті припустимий діапазон відхилень у відсотках в контрольній точці буде:

верхня межа

$$V_{\text{в}} = V_{+} + \Delta U_{\text{в}}, \quad (3.4)$$

нижня межа

$$V_{\text{н}} = V_{-} + \Delta U_{\text{н}}, \quad (3.5)$$

де V_{+} і V_{-} - припустимі відхилення напруги на затискачах електроприймача, %;

$\Delta U_{\text{в}}$ і $\Delta U_{\text{н}}$ – втрати напруги в мережі 0,38 кВ від контрольної точки відповідно до найближчого і найбільш віддаленого електроприймача, %.

При розробці заходів з покращення якості напруги рекомендується встановлення реєструючого вольтметра, який на відмінну від приладу САКН-1 показує точний відрізок часу, протягом якого спостерігається неякісна напруга. Останнє дозволяє більш правильно вжити необхідні заходи з покращенню напруги.

3.2.1. Технічні дані приладу САКН-1 і інструкція із здійснення

вимірів і обробки результатів

Прилад забезпечує можливість контролю середнього значення змінної напруги частоти 50 Гц з номінальними діючими значеннями 100, 127, 220 и 380 В. Вибір номінальної напруги здійснюють перемикачем «НАПРУГА».

Весь контрольований діапазон відхилень напруги розбитий на вісім інтервалів. Кожному інтервалу відповідає свій цифровий індикатор-рахівник. Значення меж інтервалів обирається штекерами на матриці «МЕЖІ ІНТЕРВАЛІВ» з наступного ряду: 85,00; 88,75; 90,00; 92,5; 95,00; 96,25; 97,50; 98,75; 100,00; 101,25; 102,50; 103,75; 105,00; 107,50; 110,00; 111,25; 115,00%, причому межа 100,00%, що визначає значення напруги, яке називається в подальшому опорним, завжди відповідає межі між четвертим і п'ятим інтервалами. Прилад забезпечує можливість зрушення перемикачем «ЗСУВ %» контрольований діапазону напруги ступенями через 2,5% на величину $\pm 10\%$ від обраної номінальної напруги.

Фіксація інтервалу, в якому знаходилась в момент контролю дослідна напруга, здійснюється цифровими індикаторами автоматично через задані проміжки часу. Скид на ноль показань індикаторів не передбачений.

Зникнення напруги у контрольований мережі не призводить до втрати накопиченої інформації.

Конструкцією передбачено як спільне, так і окреме живлення вимірювальних і силових ланцюгів приладів. Живлення силових ланцюгів при окремому живлення вимірювальних і силових ланцюгів здійснюється змінною напругою 220 ± 33 В частоти 50 Гц незалежно від величини опорної напруги.

Основна відносна похибка перемикачів «НАПРУГА» і «ЗСУВ %» не перевищує кожна окремо $\pm 0,25\%$ від відповідної номінальної напруги.

У приладі передбачена можливість компенсації основних відносних похибок перемикачів «НАПРУГА» і «ЗСУВ %» у будь-якому їх положенні потенціометром «КОРЕКЦІЯ».

Діапазон регулювання витримки часу між моментами контролю перекривається двома піддіапазонами за допомогою тумблера «МЕНШЕ-БІЛЬШЕ» і

потенціометра «ЧАС».

Найбільша витримка часу не менше 150, найменша – не більше 10 с.

Перед ввімкненням приладу обирають діапазон виміру і здійснюють розбивку діапазону на розряди. Вибір діапазону вимірів залежить від місця установки приладу і наявності попередньої інформації про можливі відхилення напруги в цьому місці. Діапазон вимірів рекомендується розбивати на однакові розряди.

Після установки розрядів у бланк вимірів (табл. 3.1), який повинен бути заготовлений завчасно, записуються межі розрядів і витримку часу.

Таблиця 3.1 - Стандартний бланк для заповнення при виконанні вимірів

№ п/п	Дата, час виміру	Показання рахівників							
		1	2	3	4	5	6	7	8

Значення меж інтервалів δU , %

$$\Delta t = \dots; \quad U_{ж.к.} = \dots,$$

де Δt – встановлена витримка часу приладів, знання якої необхідне для перевірки правильності роботи приладу і вибору діапазону контролю;

$U_{ж.к.}$ – бажана середня напруга в k -й точці мережі.

Якщо діапазон вимірів був обраний невдало, необхідно його замінити й занести в бланк вимірів нові значення меж.

Побудову гістограми і отримання її числових характеристик розглянемо на конкретному прикладі.

У результаті вимірів отримані такі дані (табл. 3.2).

Таблиця 3.2 - Дані вимірів

Дата, час виміру	Показання рахівників							
	1	2	3	4	5	6	7	8
20.X1 12.00	0328	4321	7283	3925	5895	3917	6181	9204
21.X1 12.00	0375	4531	8001	5073	6469	4060	6229	9204
Значення меж інтервалів δU , %	-10,0	-7,5	-5,0	-2,5	0	+2,5	+5,0	+7,5
	-7,5	-5,0	-2,5	0	+2,5	+5,0	+7,5	+10,0

Встановлена витримка приладу $\Delta t = 30$ с.

Перевіряємо справність роботи рахівників і правильність обраного діапазону контролю, для чого розраховуємо середню витримку часу за весь час вимірів і порівнюємо її з встановленою:

$$\Delta t_{cp} = \frac{\text{час вимірів}}{\sum_{i=1}^n U_i} = \frac{24 * 3600}{2870} = 30,1 \text{с.}$$

Різниця між Δt і Δt_{cp} несуттєва. Прилад справний, діапазон обраний правильно. Розраховуємо ймовірність, нумеруємо розряди і будуємо гістограму (рис. 3.1).

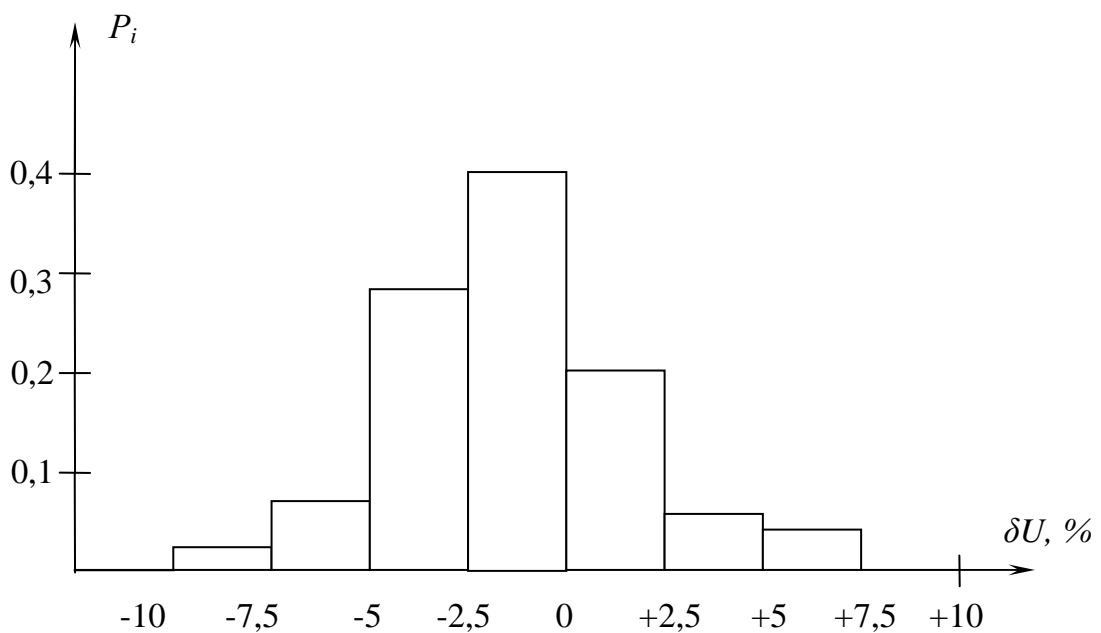


Рис. 3.1. - Гістограма відхилень напруги

Розраховуємо проміжні величини й числові характеристики гістограми:

$$\bar{A} = -0,01 * 3 - 0,073 * 2 - 0,25 * 1 + 0,2 * 1 + 0,017 * 3 = -0,075;$$

$$U = -1,25 + 2,5 * (-0,075) = -1,438\%.$$

Результати обчислень заносимо в табл. 5.3.

Таблиця 5.3 - Результати обчислень

Значення меж інтервалу, %	-10,0 -7,5	-7,5 -5,0	-5,0 -2,5	-2,5 0	0 +2,5	+2,5 +5,0	+5,0 +7,5	+7,5 +10,0
Значення середини інтервалів, %	-6,75	-6,25	-3,75	-1,25	+1,25	+3,75	+6,25	+6,75
Номер інтервалу	-3	-2	-1	0	+1	+2	+3	+4
Ймовірність	0,01	0,073	0,25	0,4	0,2	0,05	0,017	0,000

При необхідності визначення дисперсії відхилення напруги (D), стандар-

та відхилення (σ) і неоднаковості напруги (N) застосовуємо формули

$$D = \overline{\Delta U^2} D_A - \frac{1}{12} [(\%)^2], \quad (3.6)$$

де $\overline{\Delta U}$ - ширина інтервалу, %;

D_A - проміжна величина,

$$D_A = \sum_1^{\infty} P_i \overline{U_i^2} - (\overline{A})^2; \quad (3.7)$$

$$\sigma = \sqrt{D}; \quad (3.8)$$

$$N = \sum P_i U_i^2. \quad (3.9)$$

Тут U_i - величина середини i -го інтервалу.

Для розглянутого прикладу

$$\begin{aligned} D_A &= 0,01*9 + 0,073*4 + 0,25*4 + 0,2*1 + 0,05*4 + 0,017*9 - 0,075 = \\ &= 1,185 - 0,006 = 1,179; \end{aligned}$$

$$D = (25)^2 \times 1,179 - 1/12 = 7,277(\%)^2;$$

$$\sigma = 7,277 = 2,7\%;$$

$$N = 7,277 + (-1,438)^2 \approx 9,34(\%)^2.$$

Припустимо, що для точки мережі, в якій здійснювались виміри, припустимий діапазон відхилень напруги $\pm 5\%$ від номінального. З гістограми видно, що в цей діапазон напруг попадає 90% всього часу, тобто ймовірність знаходження відхилень напруги в припустимих межах складає 0,9. Це нижче нормованого на 0,05.

3.3. Порядок виконання роботи

1. Зібрати схему за рис. 3.2.
2. Встановити за рекомендацією керівника час вимірів, діапазон вимірів і розбити його на однакові розряди.

3. Заповнити перший і третій рядки бланка вимірів (див. табл. 3.1).
4. Включити лабораторну установку на час, вказаний керівником.
5. Після заданого часу зробити запис показань рахівників у другий рядок бланка вимірів.
6. Встановити ймовірність показань рахівників за виразом (3.3).
7. Визначити значення середини інтервалу.
8. Результати розрахунків занести в таблицю за зразком табл. 3.3.
9. Побудувати гістограму відхилень напруги.
10. Визначити ймовірність знаходження відхилень напруги в припустимих межах.
11. Визначити математичне очікування напруги, дисперсію і стандарт відхилення.
12. Сформулювати висновки до результатів вимірів і обробки результатів вимірів.

3.4. Оформлення звіту

Звіт повинен містити: схему вимірів; результати вимірів; результати розрахунків; висновки.

Контрольні питання:

1. Вимоги ГОСТ 13109-87* до якості електроенергії у споживача.
2. Вплив відхилення напруги на роботу електроприймачів.
3. Принцип дії статистичних приладів контролю параметрів режиму роботи мережі.
4. Застосування математичних методів обробки статистичної інформації.

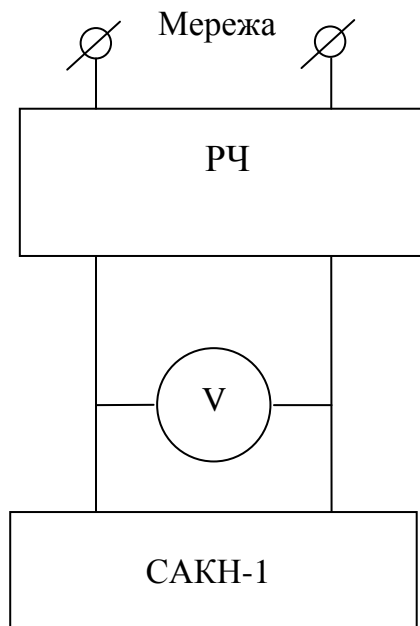


Рис. 3.2. - Схема підключення приладу САКН-1 до лабораторної установки

Лабораторна робота № 4

ВИКОРИСТАННЯ І АНАЛІЗ МЕТОДІВ РОЗРАХУНКУ ЕЛЕКТРИЧНИХ НАВАНТАЖЕНЬ ПРОМИСЛОВОГО ПІДПРИЄМСТВА

4.1. Мета роботи

Ознайомитись з основними методами розрахунку електричних навантажень промислового підприємства.

4.2. Загальні відомості

Вірне визначення очікуваних електричних навантажень при проектуванні елементів системи електропостачання є основою для раціонального вирішення всього комплексу питань, пов'язаних з електропостачанням промислового підприємства. Завищення розрахункових навантажень приводить до перевитрат матеріалу проводів мережі, збільшення потужності трансформаторів і, отже, до

подорожчання систем електропостачання. Зниження розрахункових навантажень веде до зменшення пропускної спроможності електричних мереж і може викликати порушення нормальної роботи силових і освітлювальних електроприймачів. Тому очікувані електричні навантаження бажано визначити при проектуванні як можна точніше.

Однак унаслідок недостатньої точності й вірогідності вихідної інформації про всі багаточисельні випадкові фактори, що формують навантаження, вони не можуть бути визначені з високою точністю. Звичайно при визначенні очікуваних навантажень вважають припустимими помилки в межах $\pm 10\%$.

У практиці проектування використовують такі методи визначення розрахункових навантажень:

4.2.1. Основні методи розрахунку електричних навантажень

4.2.1.1. За річною витратою активної потужності

а) при наявності даних про питомі витрати електроенергії на одиниці продукції в натуральному вираженні w_{num} й продукції, що випускається, M за формулою:

$$P_p = w_{num} M / T_M \quad (4.1)$$

де T_M – річна кількість годин використання максимуму активної потужності;

б) при наявності даних про питомі щільності максимального навантаження на квадратний метр площі цеху P_{num} і заданій величині цієї площини F за формулою

$$P_p = P_{num} F \quad ; \quad (4.2)$$

в) при наявності даних про питомі витрати для окремих агрегатів за формулою:

$$P_p = \sum w_{num} M / T_M + P_y, \quad (4.3)$$

де P_y – встановлена потужність загальноцехових електроприймачів.

4.2.1.2. Метод коефіцієнта попиту

Застосовують при визначенні навантаження підприємства в цілому на стадії проектного завдання та при інших орієнтовних розрахунках за середніми коефіцієнтами попиту K_c за формулою

$$P_p = K_c P_y \quad . \quad (4.4)$$

Величину K_c приймають однаковою для електроприймачів однієї групи, які працюють в одному режимі, незалежно від кількості й потужності окремих приймачів. Значення коефіцієнта попиту для машинобудівної галузі наводиться в табл. 4.1.

Таблиця 4.1. - Значення коефіцієнта попиту

Електроприймачі	Коефіцієнти		
	K_U	$\cos \varphi$	K_C
Металорізальні верстати, дрібні токарні, стругальні, свердлильні, фрезерні і т.д.	0,12-0,14	0,4-0,5	0,14-0,16
Те саме, при важкому режимі роботи: штампувальні преси, автомати, револьверні, обдирні, а також круглі токарні, стругальні, фрезерні верстати і т.д.	0,17-0,2	0,65	0,23-0,28
Те саме, з особливо важким режимом роботи: приводи молотів, кувальні машини, волочильні верстати, очисних барабанів та ін.	0,24	0,65	0,4
Крани мостові, грейферні, кран-балки, тельфери, ліфти	0,15-0,35	0,5	0,2-0,5
Вентилятори, санітарно-гігієнічна вентиляція, насоси, компресори, двигуни-генератори	0,65-0,8	0,8	0,75

4.2.1.3. Метод упорядкованих діаграм

Метод застосовують для всіх рівнянь системи електропостачання і не залежно від стадії проектування. Розрахункове навантаження визначають за формулою

$$P_p = K_M K_H P_H \quad (4.5)$$

де P_M – сумарна активна потужність робочих електроприймачів; K_H – груповий коефіцієнт використання активної потужності за найбільш завантажену зміну (див. табл. 4.1); K_M – коефіцієнт максимуму активної потужності. Цей коефіцієнт знаходять в табл. 4.2 залежно від величини групового коефіцієнта використання K_H і так званої ефективної кількості електроприймачів групи n_e .

Ефективною кількістю електроприймачів n_e називається така кількість однорідних за режимом роботи електроприймачів однакової потужності, яка дає ту ж величину розрахункового максимуму P_p , що й група електроприймачів, різних за потужністю і режимом роботи, знаходять за формулою

$$n_e = \left(\sum_{i=1}^n P_H \right)^2 / \sum_{i=1}^n P_H^2, \quad (4.6)$$

де P_H – номінальна потужність окремих ЕП.

Значення коефіцієнтів максимуму K_M для різноманітних коефіцієнтів використання K_H залежно від n_e наведені в табл. 3.2.

$$\text{При } n_e > 200 \quad K_M \approx 1,0$$

Розрахункове реактивне навантаження визначають за формулою

$$Q_p = L_M K_H \operatorname{tg} \varphi_{CM} P_H, \quad (4.7)$$

де $\operatorname{tg} \varphi_{CM}$ – середньозважений $\operatorname{tg} \varphi$ за потужністю окремих ЕП; L_M – коефіцієнт максимуму за реактивним навантаженням.

Для груп ЕП з рівномірним графіком навантаження приймають $L = 1,05$ для будь-якого n_e . Для груп ЕП з нерівномірним графіком навантаження числові значення вибирають залежно від K_H і n_e за табл. 4.3.

Таблиця 4.2. - Коефіцієнти максимуму K_M для різних коефіцієнтів використання K_H залежно від n_e

n_e	Значення K_M при K_H								
	0,1	0,15	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8
4	3,43	3,11	2,64	2,14	1,87	1,65	1,46	1,29	1,14
5	3,23	2,87	2,42	2	1,76	1,57	1,41	1,26	1,12
6	3,04	2,64	2,24	1,88	1,66	1,51	1,37	1,23	1,1
7	2,88	2,48	2,1	1,8	1,58	1,45	1,33	1,21	1,09
8	1,72	2,31	1,99	1,72	1,52	1,4	1,3	1,2	1,08
9	2,56	2,2	1,90	1,65	1,47	1,37	1,28	1,18	1,08
10	2,42	2,1	1,84	1,6	1,43	1,34	1,26	1,16	1,07
12	2,24	1,96	1,75	1,52	1,36	1,28	1,23	1,15	1,07
14	2,10	1,85	1,67	1,45	1,32	1,25	1,20	1,13	1,07
16	1,99	1,77	1,61	1,41	1,28	1,23	1,18	1,12	1,07
18	1,91	1,7	1,55	1,37	1,26	1,21	1,16	1,11	1,06
20	1,84	1,65	1,5	1,34	1,24	1,2	1,15	1,11	1,06
25	1,71	1,55	1,4	1,28	1,21	1,17	1,14	1,1	1,06
30	1,62	1,46	1,34	1,24	1,19	1,19	1,13	1,1	1,05
40	1,5	1,37	1,27	1,19	1,15	1,13	1,12	1,09	1,05
50	1,4	1,3	1,23	1,16	1,14	1,11	1,1	1,08	1,04
60	1,32	1,25	1,19	1,14	1,12	1,11	1,09	1,07	1,03
70	1,27	1,22	1,17	1,12	1,1	1,1	1,09	1,06	1,3
80	1,25	1,2	1,15	1,11	1,11	1,1	1,08	1,06	1,03
90	1,23	1,18	1,13	1,1	1,09	1,09	1,08	1,05	1,02
100	1,21	1,17	1,12	1,1	1,08	1,08	1,07	1,05	1,02
120	1,19	1,16	1,12	1,09	1,07	1,07	1,07	1,05	1,02
140	1,17	1,15	1,11	1,08	1,06	1,06	1,06	1,05	1,02
160	1,16	1,13	1,1	1,08	1,05	1,05	1,05	1,04	1,02
180	1,16	1,12	1,1	1,08	1,05	1,05	1,05	1,04	1,01
200	1,15	1,12	1,09	1,07	1,05	1,05	1,05	1,04	1,01

Таблиця 4.3. - Значення коефіцієнта максимуму за реактивною потужністю L_M залежно від K_H і n_e

K_H	$> 0,2$		$\leq 0,2$	
n_e	≤ 10	> 10	≤ 100	> 100
L_M	1,1	1,0	1,1	1,0

При використанні цього методу рекомендується наступний порядок розрахунку:

1. Визначають кількість розрахункових вузлів N . Для електричної схеми це може дорівнювати кількості радіальних шинопроводів, підключених до цехової трансформаторної підстанції.

2. Всі електроприймачі по кожному розрахунковому вузлу розбиваються на групи за режимами роботи. Першу групу складають з електроприймачів зі змінним графіком навантаження, другу складають з практично постійним графіком навантаження.

3. По групі сумують кількість і номінальну потужність електроприймачів.

4. З табл. 4.1 знаходять по кожному найменуванню електроприймачів K_H і $\cos \varphi$.

5. За формулами знаходять середню потужність по кожному найменуванню:

$$P_C = K_H P_H \quad \text{і} \quad Q_C = P_C \operatorname{tg} \varphi \quad (4.8)$$

6. По групі сумують середня потужність.

7. По кожній групі визначають за формулою (4.6) n_e .

8. За таблицями 4.2 і 4.3 визначають L_M і K_M .

9. Визначають розрахункові активну і реактивну потужності по групі:

$$P_P = K_M P_C \quad \text{і} \quad Q_P = L_M Q_C. \quad (4.9)$$

10. Визначають повну потужність по групі S_p .

11. По групі визначають груповий коефіцієнт використання:

$$K_H = \frac{\sum P_C}{\sum P_H}, \quad (4.10)$$

де $\sum P_C$ – сума середніх потужностей по групі; $\sum P_H$ – сума номінальних потужностей по групі.

12. По вузлу сумують P_C і Q_C . Визначають n і $\sum P_H$, знаходять n_e . А далі за

пунктами 8-11. Значення, одержані при розрахунках, вже відносяться до розрахункового вузла.

При використанні обчислювальної техніки коефіцієнт максимуму K_M можна визначити як

$$K_M = \left(1 + \frac{\sqrt{3} \sqrt{f_{KI}^2}}{\sqrt{n_e}} \right) (AK_\phi - B). \quad (4.11)$$

f_{KI} – коефіцієнт форми впорядкованих індивідуальних коефіцієнтів використання (лежить у межах 1,05-1,2); K_ϕ – груповий коефіцієнт форми графіка навантаження за найбільш завантажену зміну, а коефіцієнти A і B мають числове значення, що залежить від величини K_ϕ :

$$\begin{array}{llll} \text{при } K_\phi < 1,1 & \text{буде} & A=4,1, & B=3,1, \\ 1,1 \leq K_\phi \leq 1,5 & & A=2,8, & B=1,67. \end{array}$$

Метод виявився громіздким. Застосування його на вищому рівні приводить до більших помилок в розрахунках. Помилки накопичуються від рівня до рівня. Відбувається просте підсумовування потужностей і коефіцієнтів, хоча електроприймачі виявляються з різних груп.

4.2.1.4. Статистичний метод розрахунку

Він дозволяє визначити розрахункову потужність з будь-якою прийнятою ймовірністю за піком температури й зношеності ізоляції і дає можливість подолати недоліки попереднього методу. Він виявляється більш прогресивним і в подальшому повинен знайти широке використання.

Розрахункове навантаження визначають двома інтегральними показниками: середнім навантаженням P_{CM} і середньоквадратичним відхиленням за рівнянням

$$P_P = P_{CM} \pm \beta \sigma_{cp} \quad (4.12)$$

де β - прийнята кратність міри розсіювання для розрахункового навантаження за піком температури і зношеністю ізоляції. Більш докладний опис цього методу дано в літературі. У методичних вказівках наводиться тільки порядок розрахунку статистичним методом:

1. За розрахунковим вузлом визначають сумарна встановлена потужність ΣP_H та виділяється найбільш потужний ЕП в групі P_{Hmax} .

2. Визначають ефективна кількість електроприймачів за формулою

$$n_e = 2 \sum P_H / P_{Hmax} \quad (4.13)$$

3. Визначають середнє навантаження вузла P_C та Q_C :

$P_C = P_H K_H$ – для активного навантаження та

$Q_C = P_C \tan \varphi$ – для реактивного навантаження.

Якщо середнє навантаження розраховують для групи електроприймачів, то коефіцієнт використання K_H беруть з табличних даних (див. табл. 4.1).

Підсумувавши середнє навантаження по групах арифметичним складанням, отримуємо середнє навантаження по вузлу ΣP_C і ΣQ_C .

4. Визначаємо K_H по вузлу

$$K_H = \frac{\sum P_C}{\sum P_H}$$

де ΣP_H – сумарна встановлена потужність по вузлу.

5. Визначаємо коефіцієнт максимуму K_M :

$$K_M = I + \frac{I}{\sqrt{n_e}} \left(0,5 / K_H - 0,4 \right) \quad (4.14)$$

6. Визначаємо розрахункове навантаження за формулою:

$$P_P = K_M \sum P_C, \quad Q_P = L_M \sum Q_C \quad (4.15)$$

L_M – беруть за табл. 4.3 залежно від K_H і n_e .

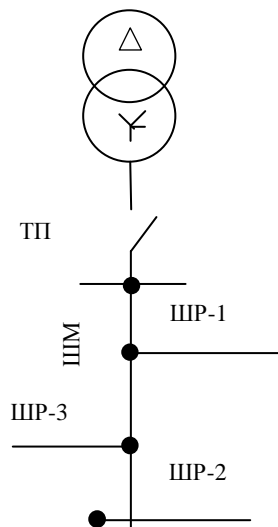


Рис. 4.1. - Схема до розрахунку електричних навантажень

Таблиця 4.4. – Варіанти розрахунку

Найменування вузлів живлення і груп ЕП	Варіант 1			Варіант 2			Варіант 3		
	Кількість ЕП, n	Встановлена потужність, кВт		Кількість ЕП, n	Встановлена потужність, кВт		Кількість ЕП, n	Встановлена потужність, кВт	
		$\frac{P_{H\max}}{P_{H\min}}$	P_H		$\frac{P_{H\max}}{P_{H\min}}$	P_H		$\frac{P_{H\max}}{P_{H\min}}$	P_H
<u>ШР-1</u>									
Металорізальні верстати	38	5	190	30	4	120	45	5	225
Пресове обладнання	13	15	195	9	10	90	11	12	132
Електропіч	1	1х50	50	4	50	200	2	50	100
Вентилятори	2	2х4,5	9	4	4,5	18	2	4,5	9
<u>ШР-2</u>									
Верстати різні	60	51/4	800	48	51/4	650	72	42/4	900
Вентилятори	4	4х15	60	6	15	90	10	15	150
Насоси	2	2х75	150	4	60	240	4	75	300
Нагрівачі	3	3х30	90	6	42	252	2	30	60
<u>ШР-3</u>									
2 заливальні кра-ни									
а) головний підйом (2 двигуни)	2	2х50	200	4	2х50	400	3	2х50	300
б) допоміжний підйом	6	30/7,5	90	5	30/7,5	60	4	30/7,5	75
в) пересувний міст (2 двигуни)	2	2х40	160	4	2х40	320	3	2х40	240

4.3. Порядок виконання роботи

Задана схема цехової електричної мережі, що живиться від трансформаторної підстанції (ТП).

3.1. Викладач визначає варіант завдання, вихідні дані яких подані в табл. 4.4.

3.2. Вибирають основний більш придатний метод розрахунку й визначають навантаження цехової трансформаторної підстанції. Розрахунок ведуть з використанням обчислювальної техніки.

3.3. Вибирають другий метод розрахунку й аналогічно визначають навантаження для даного варіанта.

3.4. Показують відхилення розрахункових значень другого методу від основного у відсотках.

4.4. Оформлення звіту

Звіт повинен містити розрахункову схему й вихідні дані, а також розрахункові навантаження підстанції, розраховані як мінімум за двома варіантами. Відхилення розрахункових навантажень.

Висновки.

Контрольні питання:

1. Які методи розрахунку електричних навантажень Ви знаєте?
2. Вкажіть достоїнства, недоліки й область застосування кожного з методів.
3. Вкажіть найбільш прогресивні методи розрахунку.

Лабораторна робота № 5

ВИБІР КОМПЕНСУЮЧОЇ ПОТУЖНОСТІ ДЛЯ НАВАНТАЖЕННЯ І ДОСЛІДЖЕННЯ ЇЇ ВПЛИВУ НА ВТРАТИ ПОТУЖНОСТІ В СИСТЕМАХ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ

5.1. Мета роботи

Метою роботи є вивчення споживання навантаження, за яке в лабораторній роботі використовується асинхронний двигун, реактивної потужності, вибору батарей конденсаторів для компенсації реактивної потужності й оцінювання зниження втрат в системах електропостачання.

5.2. Загальні відомості

Електроприймачі промислових підприємств й міст для своєї роботи потребують як активної (P), так і реактивної (Q) потужності. Реактивна потужність, як і активна виробляється синхронними генераторами й передається по системі електропостачання до споживачів.

Основними електроприймачами реактивної потужності на промислових підприємствах є асинхронні двигуни (65-70%), 20-25% припадає на трансформатори, 10% – на всі інші електроприймачі.

Знижуючи споживання приймачами реактивної потужності, можна зменшити встановлену потужність генератора, трансформаторну потужність підстанції, збільшити пропускну спроможність системи електропостачання, не збільшуючи розрізу кабелів, проводів та інших струмопровідних частин.

Передача значної реактивної потужності по лініях і через трансформатори не вигідна таких причин:

- виникають додаткові втрати активної потужності й енергії у всіх елементах системи електропостачання, зумовлені завантаженням їх реактивної потужності:

$$\Delta P = \frac{P^2 + Q^2}{U^2} R = \frac{P^2}{U^2} R + \frac{Q^2}{U^2} R = \Delta P_a + \Delta P_p, \quad (5.1)$$

де P , Q – активна і реактивна потужності відповідно, що передаються по елементах мережі опором R ; ΔP_a , ΔP_p – втрати активної потужності, викликані протіканням відповідно активної й реактивної потужностей по елементах мережі;

- виникають додаткові втрати напруги:

$$\Delta U = \frac{PR + QX}{U} = \frac{PR}{U} + \frac{QX}{U} = \Delta U_a + \Delta U_p, \quad (5.2)$$

де R , X – активний і реактивний опори відповідно елементів мережі електропостачання; ΔU_a , ΔU_p – втрати напруги, обумовлені проходженням відповідно активної і реактивної потужностей по елементах мережі;

- завантаження реактивною потужністю ліній електропередачі й трансформаторів зменшує їх пропускну спроможність і потребує додаткових заходів щодо збільшення пропускну спроможності мережі.

Наведені міркування змушують, наскільки це технічно й економічно доцільно, наближати джерела реактивної потужності до місць її споживання. Це розвантажує значну частину ліній електропередач і трансформаторів від реактивної потужності, що рівнозначне збільшенню коефіцієнта потужності.

Величина споживання реактивної потужності асинхронними двигунами залежить від коефіцієнта завантаження і номінального коефіцієнта потужності двигуна.

При номінальному завантаженні й номінальній напрузі асинхронний двигун споживає реактивну потужність

$$Q_H = \frac{P_H}{\eta_{дн}} \operatorname{tg} \varphi_H, \quad (5.3)$$

де $\eta_{дн}$ – К.К.Д. двигуна при повному навантаженні; P_H – номінальна активна потужність двигуна, кВт; $\operatorname{tg} \varphi_H$ – номінальний коефіцієнт потужності двигунів.

Реактивна потужність, що споживається двигуном з мережі при х.х., визначається як

$$Q_{xx} \approx \sqrt{3} U_H I_{xx}, \quad (5.4)$$

де I_{xx} – струм х.х. асинхронного двигуна.

Збільшення споживання реактивної потужності при повному навантаженні двигуна у порівнянні з холостим ходом складає:

$$\Delta Q_H = Q_H - Q_{xx} \approx \frac{P_H}{\eta_{дН}} \operatorname{tg} \varphi_H - \sqrt{3} U_H I_{xx} . \quad (5.5)$$

При навантаженнях асинхронного двигуна, менших за номінальні, приріст споживання реактивної потужності у порівнянні з холостим ходом пропорційний квадрату коефіцієнта завантаження двигуна:

$$\Delta Q = K_3^2 \Delta Q_H , \quad (5.6)$$

де $K_3 = \frac{P}{P_H}$ – коефіцієнт завантаження двигуна.

Таким чином, реактивна потужність, що споживається двигуном при довільному навантаженні:

$$Q = Q_{xx} + \Delta Q_H K_3^2 , \quad (5.7)$$

а коефіцієнт потужності асинхронного двигуна при довільному навантаженні дорівнює:

$$\cos \varphi = \frac{P}{S} = \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{Q_{xx} + \Delta Q_H K_3^2}{P_H K_3} \right)^2}} . \quad (5.8)$$

З викладених вище формул випливає, що коефіцієнт потужності двигуна зменшується при зниженні його завантаження. Заходи з підвищення коефіцієнта потужності можна розділити на дві частини: зменшити споживання реактивної потужності приймачем без використання компенсуючих пристроїв і з використанням компенсуючих пристроїв. Одним із заходів, що не потребує використання компенсуючих пристроїв, є заміна мало завантажених двигунів двигунами меншої потужності. Але цей захід потребує економічного обґрунтування. Для підвищення коефіцієнта потужності й зменшення завантаження реактивною потужністю елементів системи вдаються до встановлення компенсуючих пристроїв, в якості яких найчастіше використовують статичні конденсатори, які встановлюють поблизу споживання реактивної потужності.

Якщо необхідно скомпенсувати значення коефіцієнта реактивної потужності до будь-якої заданої величини, потужність батареї конденсаторів визначають із співвідношення

$$Q_6 = P(tg\varphi_1 - tg\varphi_2), \quad (5.9)$$

де Q_6 – реактивна потужність батарей конденсаторів, кВар; P – активна потужність споживача електроенергії, кВт; $tg\varphi_1$ – фактичне значення коефіцієнта потужності; $tg\varphi_2$ – задане значення коефіцієнту потужності реактивної потужності.

5.3. Описання лабораторної установки

Роботу виконують на установці, принципова схема якої наведена на рис. 5.1. Живлення до установки підводиться через автоматичний вимикач АВ і таймерний пристрій, що складається з пускача П, пневматичного реле часу РЧ й кнопки “ПУСК”. Реле часу не дозволяє тривало працювати електродвигуну, щоб уникнути перегріву резистора.

Вимір електричних величин здійснюють амперметрами A_1 і A_2 , ватметрами W_1 і W_2 .

Навантаження електродвигуна АД змінюється шляхом збільшення збудження генератора Г з електромашинним посилювачем ЕМП. Генератор ввімкнений постійно на вантажний опір “Навантаження”.

Для набору різних ємностей конденсаторної батареї передбачений блок вимикачів, що дозволяє змінювати рівнями ємність конденсаторів у кожній фазі від 0 до 42 мФ.



5.4. Прилади й обладнання

У лабораторній установці використовується таке обладнання: генератор постійного струму з електромашинним посилювачем ЕМП-49 (за схемою Г і ЕМП) 220 В, 3000 об/хв.;

- автоматичний вимикач АВ, $I_H - 16$ А (АВ);
- пускач магнітний трифазний 220 В, ПМЛ-11000 (П);
- пневматичне реле часу, РВП-72 (РЧ);
- блок збудження стабілізований (БЗ);
- регулятор збудження $P=2$ Вт, 22 кОм (РЗ);
- асинхронний трифазний двигун 2,2 кВт, 220 В, 2850 об/хв. (АД);
- амперметр, 5-10 А, (A_1, A_2);
- вольтметр, 300 В (В);
- ватметр, 10 А, 300 В (W_1, W_2);
- батарея конденсаторів 6 шт по 8 мФ, 15 шт по 4 мФ и 9 шт по 2 мФ, 630 В (БК).

5.5. Порядок виконання роботи

Лабораторна робота зібрана відповідно до принципової схеми на рис. 5.1.

Батарея конденсаторів (БК) до початку проведення дослідів повинна бути відключена (положення вимикачів “вниз”) і регулятор збудження (РЗ) встановлений в положення “min”, яке відповідає проведенню дослідів “1”.

Показання приладів записують в табл. 5.1.

Регулятор збудження (РЗ) переводиться по чергові в положення “1”, “2”, “3”, автоматично проводять дослідів 2, 3, 4, а дані заносять в табл. 5.1.

Згідно з одержаними дослідними даними заповнюють табл. 5.2.

Таблиця 5.1 - Таблиця вимірів

Номер дослідів	Показання приладів				
	U, В	I_1 , А	I_2 , А	W_1 , Вт	W_2 , Вт
1					
2					
3					
4					

Таблиця 5.2 - Таблиця розрахунків

Номер дослід	$\frac{P, \text{кВт}}{W_1 + W_2}$	$\frac{S, \text{кВА}}{3U_\phi I_\phi}$	$\frac{\cos \varphi_1}{P/S}$	$\frac{K_3}{P/P_H}$	$\frac{\text{Зад.к.п}}{\text{tg } \varphi_2}$	$Q_\phi, \text{кВар}$	$C_\phi, \text{мФ}$
1							
2							
3							
4							

Заданий коефіцієнт потужності задається викладачем. Необхідну ємність конденсаторів у кожній фазі при з'єднанні трикутником визначають:

$$C_B = \frac{Q_B 10^6}{U^2}, \quad (5.10)$$

де U – лінійна напруга мережі, В.

Після визначення ємності конденсаторів необхідно для підвищення коефіцієнта потужності до заданого, вмикають конденсатори у фазі, визначені розрахунком. Режим роботи асинхронного двигуна (номер дослід) визначає викладач. Для даного режиму роботи вже з батареєю конденсаторів проводять дослід і записують показання приладів. Аналізуючи їх, необхідно зробити висновки по даній роботі.

Контрольні питання:

1. Як впливає коефіцієнт завантаження електродвигуна на величину коефіцієнта потужності?
2. Вигідна чи ні передача реактивної потужності по системах електропостачання?
3. Як визначити потужність батареї конденсаторів для компенсації реактивної потужності?

Лабораторна робота № 6

ВИЗНАЧЕННЯ РАЦІОНАЛЬНОГО МІСЦЕРОЗТАШУВАННЯ ГОЛОВНОЇ ПОНИЖУЮЧОЇ ПІДСТАНЦІЇ (ГПП) НА ТЕРИТОРІЇ ПРОМИСЛОВОГО ПІДПРИЄМСТВА

6.1. Мета роботи

Побудова зони оптимального розташування живлячих підстанцій на території промислового підприємства.

6.2. Загальні відомості

Головною ланкою в системі електропостачання промислового підприємства є головні розподільні (ГРП) або головні понижуючі (ГПП) підстанції промислових підприємств. Раціональне їх розміщення на території промислового підприємства є одним з найважливіших питань при проектуванні систем електропостачання.

Коли допустити, що навантаження цеху рівномірно розподілене по площі цеху, то центр навантажень цеху можна прийняти співпадаючим з центром ваги фігури, що зображує цех на плані. Якщо враховувати дійсний розподіл навантажень в цеху, то центр навантажень вже не буде співпадати з центром ваги фігури цеху на плані, і знаходження центру навантажень зводиться до визначення центру ваги даної системи мас.

Проводячи аналогію між масами й електричними навантаженнями цехів P_i , координати їх центра можна визначити відповідно до формул

$$X_0 = \frac{\sum_{i=1}^n P_i X_i}{\sum_{i=1}^n P_i}; \quad Y_0 = \frac{\sum_{i=1}^n P_i Y_i}{\sum_{i=1}^n P_i}, \quad (6.1)$$

де P_i - повне навантаження i -го цеху, кВА; n – кількість цехів, шт; X_i, Y_i – координати центра навантаження i -го цеху, м.

Цей метод визначення центра електричних навантажень відрізняється простотою і наочністю, але він не враховує тривалість вмикання T_i цього навантаження:

$$X_0 = \frac{\sum_{i=1}^n P_i X_i T_i}{\sum_{i=1}^n P_i T_i}; \quad Y_0 = \frac{\sum_{i=1}^n P_i Y_i T_i}{\sum_{i=1}^n P_i T_i}. \quad (6.2)$$

Однак центр електричних навантажень промислового підприємства слід розглядати не як фіксовану точку на генплані, а як якусь область, що називається областю розсіювання центра електричних навантажень, в якій переміщується центр у зв'язку зі зміною графіка навантажень протягом зміни.

Для визначення зони розсіювання центру електричних навантажень треба знайти закон розподілу координат центру. Проведені в цій області дослідження показали, що розподіл випадкових координат центру відповідає нормальному закону розподілу (закон Гаусса-Лапласа):

$$f(x) = \frac{1}{\sigma_x \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-a_x)^2}{2\sigma_x^2}}; \quad (6.3)$$

$$f(y) = \frac{1}{\sigma_y \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(y-a_y)^2}{2\sigma_y^2}}, \quad (6.4)$$

де a_x, a_y – математичне очікування випадкових координат; σ_x^2, σ_y^2 – дисперсія випадкових координат, або

$$f(x) = \frac{h_x}{\sqrt{\pi}} e^{-h_x^2 x^2}, \quad (6.5)$$

$$f(y) = \frac{h_y}{\sqrt{\pi}} e^{-h_y^2 y^2}, \quad (6.6)$$

де h_x, h_y – міри точності випадкових величин:

$$h_x = \frac{1}{\sigma_x \sqrt{2}}; \quad (6.7)$$

$$h_y = \frac{1}{\sigma_y \sqrt{2}}; \quad (6.8)$$

Щільності розподілу ймовірностей випадкових координат зображують в прямокутній системі координат у вигляді кривої нормального розподілу. Нормальний закон розподілу визначають у випадку незалежних координат чотирма параметрами: математичними очікуваннями a_x, a_y , що визначають розташування умовного ЦЕН, і середньоквадратичними відхиленнями σ_x, σ_y або мірами точності h_x, h_y .

Числові характеристики знайденого розподілу знаходять з таких виразів:

$$\left. \begin{aligned} a_x &= \sum_{i=1}^n X_k P_{kx}; \\ a_y &= \sum_{i=1}^n Y_k P_{ky}; \end{aligned} \right\}; \quad (6.9)$$

$$\left. \begin{aligned} \sigma_x^2 &= \sum_{k=1}^n P_{kx} (X_k - a_x)^2; \\ \sigma_y^2 &= \sum_{k=1}^n P_{ky} (Y_k - a_y)^2; \end{aligned} \right\}; \quad (6.10)$$

$$\left. \begin{aligned} h_x &= \frac{1}{\sigma_x \sqrt{2}}; \\ h_y &= \frac{1}{\sigma_y \sqrt{2}}. \end{aligned} \right\}. \quad \dots\dots \quad (6.11)$$

Для визначення зони розсіювання центру електричних навантажень поверхню нормального розподілу необхідно перетнути площиною, паралельною площині ХОУ. Перетин на площині обмежений кривою:

$$H = Qe^{-(h_x^2 X^2 + h_y^2 Y^2)}. \quad (6.12)$$

Після логарифмування одержуємо

$$\ln \frac{Q}{H} = h_x^2 X^2 + h_y^2 Y^2, \quad (6.13)$$

де $Q = \frac{h_x h_y}{\pi}$. Рівняння (6.13) являє собою рівняння еліпса, напівосі якого дорівнюють

$$R_x = \frac{1}{h_x} \sqrt{\ln \frac{Q}{H}}; \quad R_y = \frac{1}{h_y} \sqrt{\ln \frac{Q}{H}}. \quad (6.14)$$

Ймовірність попадання випадкових координат в середину λ еліпса можна визначити, позначивши $\ln \frac{Q}{H} = \lambda^2$. Отримуємо рівняння еліпса:

$$\lambda^2 = h_x^2 X^2 + h_y^2 Y^2. \quad (6.15)$$

Ймовірність $P(\lambda)$ попадання випадкових X, Y в середину еліпса дорівнює

$$P(\lambda) = \frac{h_x h_y}{\pi} \iint_{S_\lambda} e^{-(h_x^2 X^2 + h_y^2 Y^2)} dx dy, \quad (6.16)$$

де S_λ – площа, обмежена λ -еліпсом.

Після перетворення

$$P(\lambda) = 1 - e^{-\lambda^2}. \quad (6.17)$$

Довірчою ймовірністю того, що випадкова точка (x, y) попадає в даний еліпс, називається таке значення цієї ймовірності, яке вважається достатньо близьким до одиниці. Близькість довірчої ймовірності до одиниці означає, що попадання випадкової точки (x, y) в еліпс практично вірогідне.

Прийнявши за довірчу ймовірність значення $P(\lambda) = 0,95$ і вирішивши рівняння (6.21), отримаємо $\lambda^2 = 3$, тоді

$$R_x = \frac{\sqrt{3}}{h_x}, \quad R_y = \frac{\sqrt{3}}{h_y}. \quad (6.18)$$

У загальному випадку координати X_i, Y_i центру електричних навантажень є залежними величинами. Міру сили й напрямку лінійного зв'язку між значеннями X_i, Y_i характеризує коефіцієнт кореляції K_k . Він може приймати будь-які значення:

$$-1 < K_k < 1. \quad (6.19)$$

Емпіричний коефіцієнт кореляції записують таким чином:

$$K_k = \frac{\sum_{i=1}^n (X_i - a_x)(Y_i - a_y)}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (X_i - a_x)^2} \sqrt{\sum_{i=1}^n (Y_i - a_y)^2}}, \quad (6.20)$$

де n – кількість пар чисел статичної сукупності (X_i, Y_i) ; a_x, a_y – емпіричні математичні очікування визначають з виразу (6.9).

Вісі еліпса розсіювання утворюють з осями координат деякий кут α , що визначається таким чином:

$$\alpha = \frac{\arctg \frac{2K_k \sigma_x \sigma_y}{\sigma_x^2 - \sigma_y^2}}{2}, \quad (6.21)$$

де σ_x^2, σ_y^2 – емпіричні дисперсії, що визначаються з виразу (6.10).

При виборі напрямку координатних осей їх намагаються зорієнтувати таким чином, щоб вони приблизно співпадали з напрямком осей еліпса розсіювання. Якщо це зробити раніше неможливо, то для побудови еліпса розсіювання необхідно початок координат перенести в точку a_x, a_y , а координатні осі повернуті на кут α , що визначається виразом (5.21). При цьому числові характеристики еліпса в новій системі координат φ, ψ матимуть вигляд:

$$\left. \begin{aligned} \sigma_\psi^2 &= \sigma_x^2 \cos^2 \alpha + K_k \sigma_x \sigma_y \sin 2\alpha + \sigma_y^2 \sin^2 \alpha \\ \sigma_\varphi^2 &= \sigma_x^2 \sin^2 \alpha + K_k \sigma_x \sigma_y \sin 2\alpha + \sigma_y^2 \cos^2 \alpha \end{aligned} \right\}. \quad (6.22)$$

Напівосі еліпса визначають в цьому випадку так:

$$\left. \begin{aligned} R_\psi &= \frac{\sqrt{3}}{h_\psi}; & R_\varphi &= \frac{\sqrt{3}}{h_\varphi} \\ h_\psi &= \frac{1}{\sigma_\psi \sqrt{2}}; & h_\varphi &= \frac{1}{\sigma_\varphi \sqrt{2}}. \end{aligned} \right\} \quad (6.23)$$

Генеральний план підприємства із зоною розсіювання при некорельованих величинах X і Y з урахуванням кореляції (осі ψ і φ) наведений на рис. 6.1. Кут α на плані показаний для довільного коефіцієнта кореляції. Для розрахунку чисельних значень математичного очікування, середньоквадратичного відхилення, а також знаходження зони розсіювання центру електричних навантажень дано

розрахункові навантаження цехів підприємства (табл. 6.1) з добовими графіками навантаження кожного цеху (рис. 6.2, табл. 6.1).

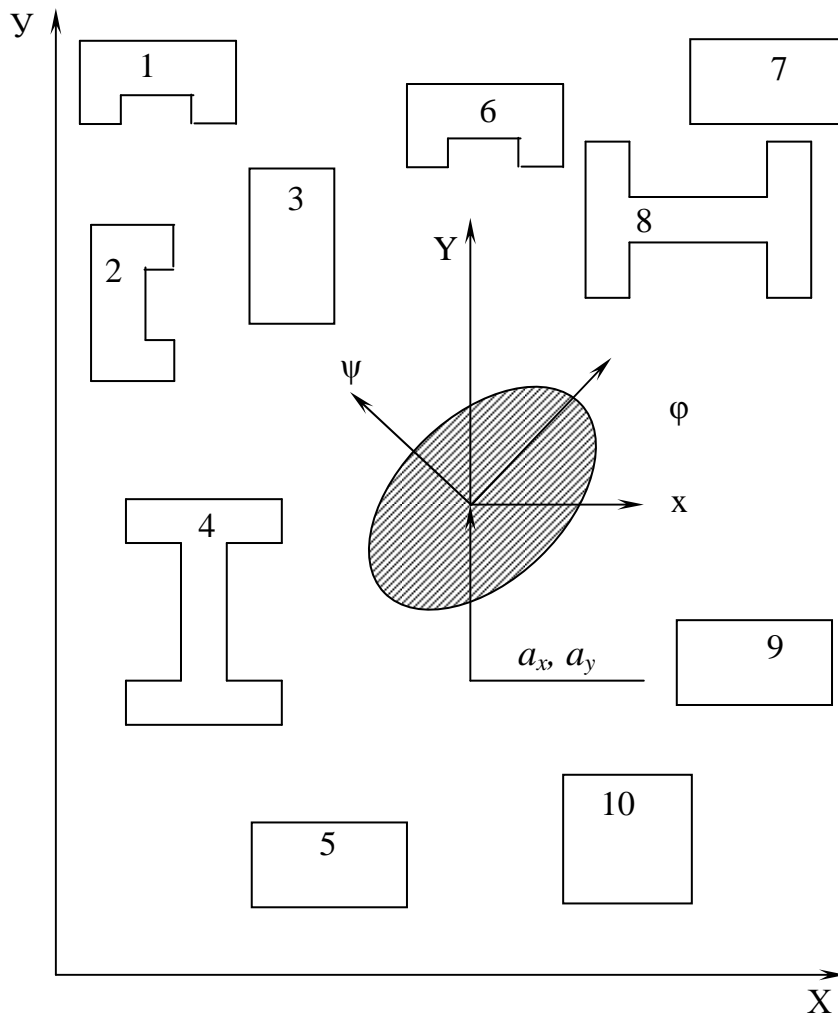


Рис. 6.1 – Генеральний план підприємства із зоною розсіювання при некорельованих величинах X і Y з урахуванням кореляції (осі ψ і ϕ)

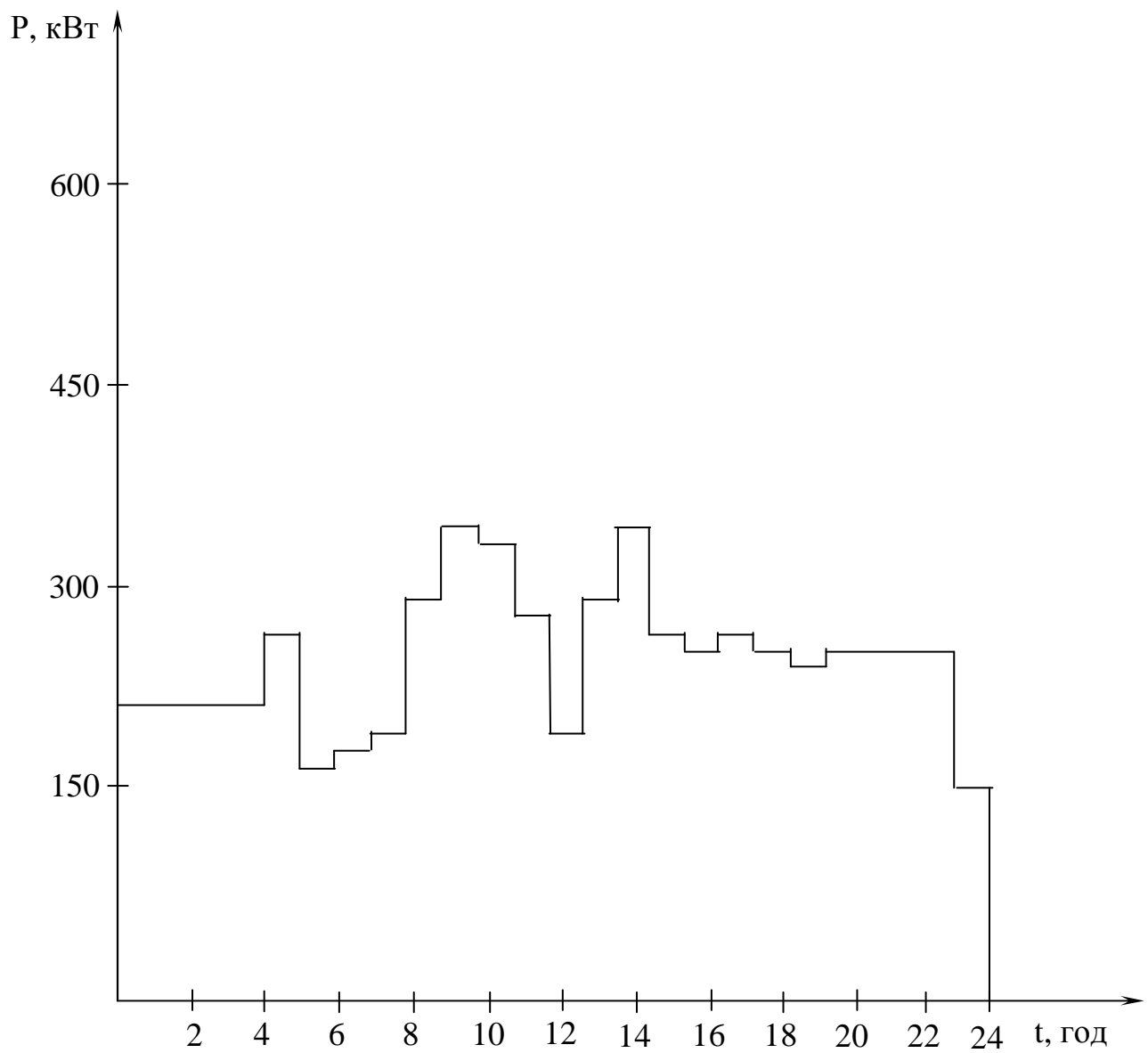


Рис. 6.2 – Графік навантаження цеху № 10. Для інших цехів навантаження наведено в табл. 5.1.

Таблиця 6.1 – Розрахункове активне навантаження цехів, кВт

Номер цеху Час, год	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	330	320	180	220	100	150	200	300	200	220
2	330	320	180	220	100	150	230	300	200	220
3	330	320	180	220	100	150	240	300	200	220
4	380	320	180	220	100	150	230	300	200	220
5	380	320	180	250	130	140	200	300	200	260
6	430	320	180	250	130	160	200	300	220	180
7	430	320	180	400	130	170	230	300	220	200
8	430	320	180	440	130	170	330	530	220	220
9	480	350	260	500	130	150	290	530	220	300
10	480	350	260	500	220	150	420	530	220	350
11	480	350	260	440	220	150	160	530	220	340
12	430	320	180	400	100	150	200	610	270	280
13	430	340	180	440	190	150	250	610	270	220
14	380	350	260	440	220	150	200	610	270	300
15	380	350	260	500	190	150	180	610	270	340
16	460	350	260	500	190	150	250	530	220	280
17	460	350	260	450	190	170	330	610	220	260
18	460	320	200	400	190	170	340	610	220	280
19	430	320	200	300	190	150	300	460	300	260
20	430	320	200	300	100	150	290	460	300	250
21	380	320	200	250	100	150	260	530	300	280
22	380	320	200	250	100	150	300	530	250	280
23	330	320	180	250	100	140	290	410	250	280
24	330	320	180	220	100	140	150	310	200	120

6.3. Описання лабораторного стенду

На стенді поданий генеральний план підприємства (рис. 5.1). На цьому плані маємо 10 цехів. За вказівкою викладача відповідними тумблерами вибираємо варіант виконання роботи (на генплані промислового підприємства загоряється лампочка цехів, що входять у даний варіант).

6.4. Порядок виконання роботи

6.4.1. Одержати завдання у викладача (номер варіанта).

6.4.2. Познаюмитися з методикою визначення зони розсіювання координат центру електричних навантажень (6.2).

6.4.3. На стенді визначити координати цехів підприємства для даного варіанта.

6.4.4. Визначити координати центру електричних навантажень відповідності до добових графіків цехів підприємства (рис. 6.2) за формулою (6.1), використовуючи дані табл. 6.1.

5.4.5. Визначити параметри нормального закону розподілу за виразами (6.9) – (6.11).

6.4.6. Визначити напівосі еліпса розсіювання за формулою (6.18).

6.4.7. Визначити коефіцієнт кореляції за формулою (6.20).

6.4.8. Визначити кут α між віссю еліпса розсіювання і осями координат за виразом (6.21).

6.4.9. Визначити параметри нормального закону розподілення в новій системі координат за формулами (6.22), (6.23).

6.4.10. Побудувати зону розсіювання центра електричних навантажень промислового підприємства.

Контрольні питання:

1. Як визначити зону розсіювання центру електричних навантажень?
2. Для чого визначають центр електричних навантажень?
3. Покажіть центр електричних навантажень з урахуванням коефіцієнта кореляції

Лабораторна робота № 7

ЗАЗЕМЛЮЮЧІ ПРИСТРОЇ І ВИМІРЮВАННЯ ОПОРУ ЗАЗЕМЛЮВАЧІВ

7.1. Мета роботи

Вивчення основних вимог „Правил устроюства електроустановок (ПУЭ)” ПВЕ (Правила влаштування електроустановок) до заземлень і захисних заходів електробезпечності, найбільш розповсюджених методів випробування заземлюючих пристроїв і вимірювальних приладів, придбання практичних навичок проведення виміру опору заземлюючих пристроїв.

7.2. Загальні відомості

Заземлюючим пристроєм називається сукупність заземлювача і провідників, що заземлюють.

Заземлювач – це металевий провідник або група провідників, що знаходяться в безпосередньому контакті із землею.

Заземлюючі провідники являють собою металеві провідники, що з'єднують частини електроустановки, які заземлюються, із заземлювачем.

Заземленням якої-небудь частини електроустановки називають навмисне електричне з'єднання її з пристроєм, що заземлює.

Опір заземлюючого пристрою – це відношення напруги на заземлюючому пристрої до струму, що стікає із заземлювача в землю.

В електроустановках напругою до 1000 В и вище безпека людей повинна забезпечуватися правильно виконаним заземлюючим пристроєм. При цьому в якості заземлювачів повинні бути в першу чергу використані природні заземлювачі, тобто металеві конструкції, арматура залізобетонних конструкцій, трубопроводи й устаткування, що мають надійне з'єднання із землею у випадках, що допускаються ППЕ. Якщо ці заземлювачі мають опір, що задовольняє вимогам ПУЭ, то влаштування штучних заземлень не потрібно.

В електроустановках із глухозаземленою нейтраллю при замиканнях на заземлені частини повинно бути забезпечене надійне автоматичне відключення пошкоджених ділянок мережі з найменшим часом відключення. З цією метою на електроустановках напругою до 1000 В з глухозаземленою нейтраллю обов'язковий металевий зв'язок корпусів електроустаткування із заземленою нейтраллю електроустановки.

До частин, що підлягають заземленню, відносяться:

- корпуси електричних машин, трансформаторів, апаратів, світильників;
- приводи електричних апаратів;
- вторинні обмотки вимірювальних трансформаторів;
- каркаси розподільних щитів, щитів керування, щитків і шаф;
- металеві конструкції розподільних пристроїв, металеві кабельні конструкції, металеві корпуси кабельних муфт, металеві оболонки і броня контрольних і силових кабелів, металеві оболонки приводів, сталеві труби електропроводки та інші металеві конструкції, зв'язані з установкою електроустаткування.

Як природні заземлювачі можуть використовуватися:

- прокладені під землею водопровідні та інші металеві трубопроводи (за винятком трубопроводів паливних рідин, паливних або вибухових газів, а також трубопроводів, покритих ізоляцією для захисту від корозії);
- обсадні труби;
- металеві конструкції й арматура залізобетонних конструкцій будинків і споруд, що мають з'єднання з землею;
- металеві шпунти гідротехнічних споруд;
- свинцеві оболонки кабелів, прокладених у землі (не допускається використання в якості природних заземлювачів алюмінієвих жил кабелів).

Як штучні заземлювачі слід застосовувати вертикально занурені сталеві труби, кутову сталь, металеві стрижні; горизонтально покладені сталеві смуги, круглу сталь.

Найменші розміри сталевих штучних заземлювачів згідно з ПВЕ:

діаметр круглих (пруткових) заземлювачів, мм

неоцинкованих 10,

оцинкованих 6;

товщина прямокутних заземлювачів, мм 4;

перетин прямокутних заземлювачів, мм² 48;

товщина полиць кутової сталі, мм 4.

Як штучні заземлювачі допускається застосування заземлювачів з електропровідного бетону.

Відповідно до вимог ППЕ найбільший опір *заземлюючих* пристроїв не повинен перевищувати:

в установках напругою вище 1000 В з великими струмами замикання на землю ($I_z \geq 500$ А) $R_z \leq 0,5$ Ом;

в установках напругою вище 1000 В з малими струмами замикання на землю ($I_z < 500$ А) $R_z \leq 250/I_z$, але не більше 10 Ом, де I_z – розрахунковий струм замикання на землю, А;

при використанні заземлюючого пристрою одночасно для електроустановок напругою вище і нижче 1000 В $R_z \leq 125/I_z$, при цьому повинні виконуватися також вимоги, пропоновані до заземлення (занулення) установок до 1000 В;

в установках напругою нижче 1000 В з ізольованою нейтраллю $R_z \leq 4$ Ом, а при потужності генераторів і трансформаторів 100 кВа і менше $R_z \leq 10$ Ом;

в установках напругою до 1000 В з глухозаземленою нейтраллю $R_z \leq 2,4$ або 8 Ом при лінійних напругах 660, 380 або 220 В; при цьому опір заземлювача, розташованого в безпосередній близькості від нейтралі генератора або трансформатора, повинен бути не більше 15, 30 або 60 Ом при лінійних напругах відповідно 660, 380 або 220 В.

На повітряних лініях електропередачі занулення повинне здійснюватися нульовим робочим проводом, прокладеним на тих же опорах, що і фазні прово-

ди. На кінцях повітряних ліній (або відгалужень) довжиною більше 200 м, а також на вводах від повітряних ліній до електроустановок, що підлягають зануленню, повинні бути виконані повторні заземлення нульового робочого проводу.

Загальний опір розтікання заземлювачів усіх повторних заземлень нульового робочого проводу кожної повітряної лінії не повинен бути в будь-який час року більше 5, 10 і 20 Ом, а кожного з повторних заземлювачів – не більше 15, 30 і 60 Ом при лінійних напругах відповідно 660, 380 і 220 В. При питомому опорі землі $\rho > 100 \text{ Ом}\cdot\text{м}$ також допускається збільшувати зазначені норми в $0,01\rho$ раз, але не більше 10-кратного збільшення.

7.3. Порядок виконання роботи

Вимірювання опору заземлюючих пристроїв повинен здійснюватись при здачі електроустановки в експлуатацію, після ремонту заземлюючих пристроїв і не рідше 1 раз в три роки в наступному. Вимір здійснюють при самих несприятливих умовах (сухий період влітку або промерзання ґрунту взимку).

Для виміру опору заземлення застосовують вимірювач заземлення МС-08. Прилад дозволяє вимірювати опори розтіканню магістралей заземлення, опору провідників та інших елементів, що не містять індуктивностей і ємкостей, у тому числі перехідні опори контактів. За допомогою вимірювача заземлення можна перевіряти питомі опори ґрунтів. Вимірювач МС-08 дозволяє проводити вимірювання при наявності блукаючих змінних і постійних струмів.

У приладі МС-08 використовують метод амперметра-вольтметра. Конструктивно амперметр і вольтметр замінені одним магнітоелектричним логометром.

Для проведення вимірів, крім випробуваного заземлювача R_x , потрібно мати ще два заземлювачі – зонд $З$ і допоміжний заземлювач $В$ (рис. 7.1). Призначення зонда – отримання в схемі точки з нульовим потенціалом, стосовно якої може бути обмірюваний потенціал випробуваного заземлювача. Призначення допоміжного заземлювача – створення ланцюга для вимірювального

струму через допоміжний і випробуваний заземлювачі.

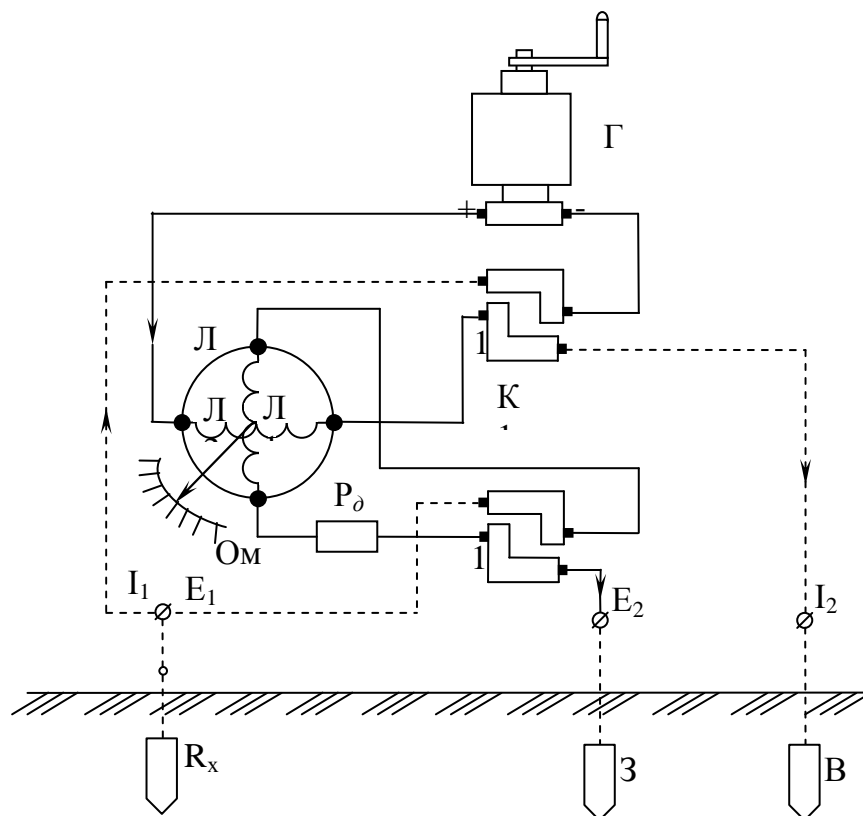


Рис. 7.1. - Схема вимірювача заземлювача МС-08

Мінімально припустимі відстані між випробуваним одиночним заземлювачем або магістраллю заземлення і допоміжними електродами зображені на рис. 7.2-7.3.

Якщо розташувати зонд до заземлювача ближче зазначених мінімальних відстаней, то буде обмірюване не все спадання напруги на ділянці розтікання, а тільки його частина. Тому виміри дадуть занижене значення опору заземлення.

Джерелом живлення МС-08 служить генератор постійного струму Г (див. рис. 7.1), що приводиться в обертання рукояткою з частотою обертання 90-150 об/хв. На одній осі з генератором обертаються комутаторний переривач ДО1 і комутаторний випрямлювач ДО2. Струмova рамка логометра ЛЛ отримує живлення постійним струмом від генератора, потім переривач перетворює постійний струм у змінний, що надходить у землю через допоміжний заземлювач.

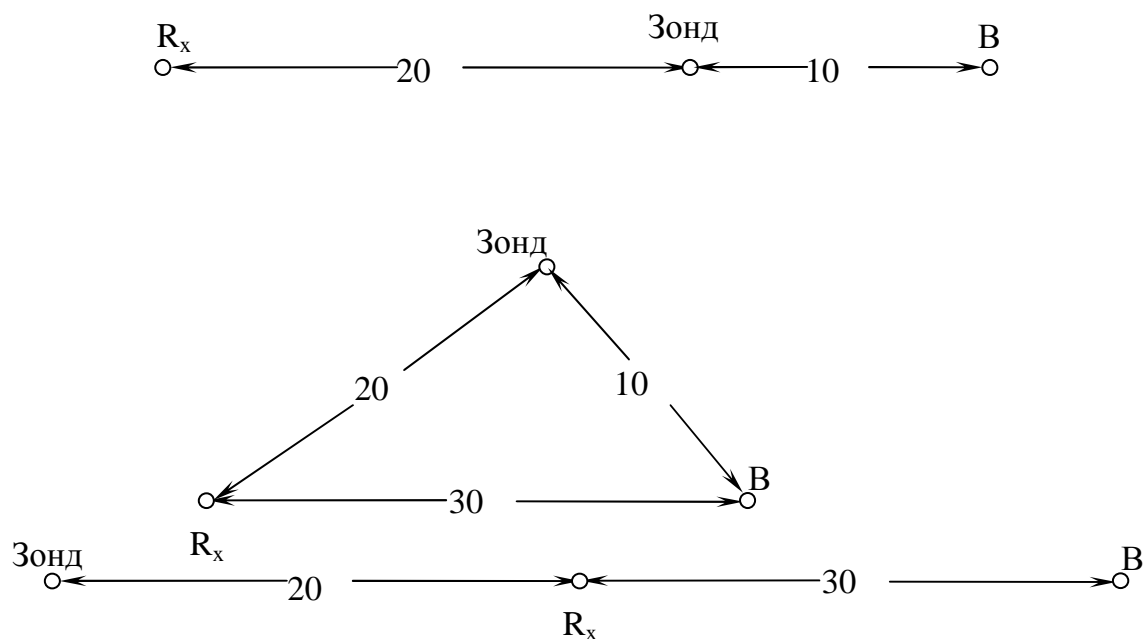


Рис. 7.2. - Мінімальні відстані між одиночним заземлювачем і допоміжними електродами

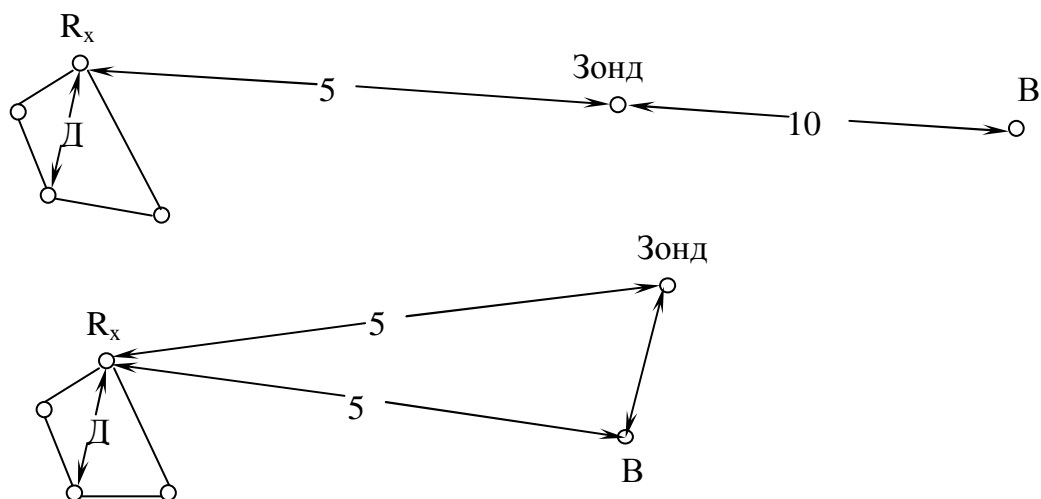


Рис. 7.3. - Мінімальні відстані між випробуваною магістраллю заземлення і допоміжними електродами

У потенційну рамку Л2, включену між випробуваним заземлювачем і зондом, подається спрямлена напруга. Таким чином, завдяки наявності переривача і випрямлювача, через рамку логометра протікає постійний струм, а через

землю – змінний. Наявність комутаторного випрямлювача перешкоджає влученню блукаючих струмів у потенційну рамку логометра.

Виконують роботу в такій послідовності. Ознайомитися з інструкцією до прилада МС-08 і навчитися ним користуватися. Зробити вимір опору електродів заземлення 1...9, розташованих на полігоні лабораторії. Для цього необхідно виконати наступне. Приєднати прилад до випробуваного заземлювача, зонда і допоміжного заземлювача згідно з рис. 7.1, дотримуючись мінімальних відстаней між заземлювачем або магістраллю і допоміжними електродами, як це показано на рис. 7.2 – 7.3.

У якості спеціальних допоміжних електродів рекомендується застосовувати сталеві стрижні діаметром 10-20 мм, що забиваються на глибину не менше 0,5 м. Допоміжними заземлювачами можуть бути також вже існуючі в землі стрижні, труби, металеві конструкції або інші заземлювачі, що не мають електричного зв'язку з випробуваним заземлювачем і достатньо віддалені від нього. При виконанні лабораторної роботи використовують основний і допоміжний зонди, що є на полігоні.

Прилад необхідно розташувати ближче до випробуваного заземлювача. Затиски I_1 і I_2 з'єднати відповідно з випробуваним і допоміжним електродами. Затиск E_2 з'єднати з зондом, а затиск E_1 – спеціальною перемичкою із затиском I_1 .

При нерухомому генераторі стежити за стрілкою приладу. Відхилення стрілки означає наявність постійного блукаючого струму. Для відокремлення від блукаючих струмів при здійсненні вимірів слід змінювати число обертів генератора (прискорюючи або сповільнюючи обертання) у межах 90-150 про/хв, домагаючись спокійного відхилення стрілки або зникнення коливань.

Зробити компенсацію зовнішніх опорів потенційного ланцюга – зонда і сполучних проводів. Для цього перемикач меж виміру П (див. рис. 7.1) ставлять у положення «Регулювання». Обертаючи рукоятку генератора зі швидкістю 90-150 про/хв одночасно повертають рукоятку реостата П, поки стрілка приладу не установиться на червоній позначці шкали.

Після закінчення компенсації потенційного ланцюга (регулювання) рукоятку перемикача II ставлять у положення «Вимір», починаючи вимір по основній шкалі, що має межу 1000 Ом. Цьому відповідає положення перемикача «Вимір 1». Якщо стрілка незначно відхиляється від нульової оцінки, то слід перейти на наступну межу і т.д.

Результати вимірів опору контурів занести в табл. 7.1.

Таблиця 7.1 - Результати вимірів

Номер електрода	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Опір електрода, Ом									

7.4. Оформлення звіту

Звіт повинен містити схему приладу МС-08, результати виміру, записані в таблицю, висновки про придатність даних заземлюючих пристроїв для тих або інших електроустановок.

Контрольні питання:

1. Призначення заземлюючих пристроїв електроустановок.
2. Як здійснюють вимір опору заземлень приладом МС-08?
3. Що таке штучні й природні заземлювачі?
4. Що таке опір розтіканню заземлювача?
5. Як впливає віддаленість зонда на точність вимірів опору заземлювача?
6. Для чого здійснюють періодичну перевірку цілості й опору заземлюючих пристроїв?
7. Яку величину опору розтіканню допускають ПВЕ в різних електроустановках?

ВИЗНАЧЕННЯ ОПОРУ ПЕТЛІ ФАЗА-НУЛЬ І СТРУМІВ ОДНОФАЗНОГО КОРОТКОГО ЗАМИКАННЯ В МЕРЕЖАХ НАПРУГОЮ ДО 1000 В

8.1. Мета роботи

Спрощене визначення струмів і перевірка умов спрацьовування захисних апаратів при однофазних замиканнях в мережах напругою до 1000 В з глухозаземленою нейтраллю.

8.2. Загальні відомості

В електричних мережах напругою до 1000 В з глухозаземленою нейтраллю повинно бути забезпечено надійне відключення захисним апаратом однофазного короткого замикання. Це диктується вимогами техніки безпеки, тому що однофазне замикання (замикання на корпус) для таких мереж пов'язане з появою напруги в нульовому проводі, потенціал якого повинен бути близьким до нуля чи рівним нулю.

Розрахунковими точками для визначення струму короткого замикання є найбільш електрично віддалені точки мережі.

Найменше значення однофазного струму короткого замикання може бути визначене за приблизною формулою

$$I_{к.з.} = \frac{U_{\phi}}{Z_n + Z_{\gamma} / 3}, \quad (8.1)$$

де U_{ϕ} – фазна напруга мережі, В;

Z_{γ} – повний опір знижуючого трансформатора струму заземлення на корпус, Ом;

Z_n – повний опір ланцюга фазний провідник – нульовий провідник (захисний чи робочий), Ом,

$$Z_n = \sqrt{R_n^2 + X_n^2}, \quad (8.2)$$

де R_n – активний опір фазного (R_{ϕ}) й нульового (R_n) провідників, Ом,

$$R_n = R_\phi + R_n, \quad (8.3)$$

X_n – індуктивний опір ланцюга фаза-нуль, Ом.

Надійне відключення захисним апаратом однофазного короткого замикання буде забезпечено при умові виконання співвідношення

$$K_z I_\phi \leq I_{k.z.}, \quad (8.4)$$

де K_z – припустима кратність мінімального струму короткого замикання ($I_{k.z.}$) відносно номінального струму плавкої вставки запобіжника або струму спрацьовування розщиплювача автомата I_ϕ .

ПВЕ регламентують наступні коефіцієнти, які забезпечують швидке спрацьовування захисту при однофазних коротких замиканнях в кінці ділянки лінії, яка захищається:

$K_z \geq 3$ – при захисті запобіжниками або автоматичними вимикачами зі зворотньо-залежною від струму характеристикою;

при захисті автоматичними вимикачами, які мають тільки електромагнітний розщиплювач (відсічку), $K_z = 1,1 K_p$, де K_p – коефіцієнт розкиду (за заводськими даними). При відсутності заводських даних дозволяється приймати $K_z \geq 1,4$ для автоматичних вимикачів з номінальним струмом до 100 А, для інших автоматичних вимикачів $K_z \geq 1,25$.

У процесі експлуатації мережі часто виникає необхідність в уточненні опору ланцюга фазний провідник – нульовий провідник для діючої установки. Це завдання може бути вирішена оперативно за допомогою приладу типу М-417 без зняття напруги з дослідної ділянки мережі.

8.2.2. *Описання і інструкція з експлуатації приладу для вимірювання опору ланцюга фаза – нуль М-417*

Прилад М-417 призначений для виміру опору ланцюга фаза – нуль в діапазоні від 0,1 до 1,6 Ом без вимкнення живлячого джерела струму. Він забезпечує перевірку умов електробезпеки роботи на електрообладнанні, яке живиться від мережі змінного струму з лінійною напругою 380 В частотою 50 Гц з глухозаземленою нейтраллю живильного трансформатора.

Технічна характеристика

Діапазон показань, Ом	0 ... 2
Робочий діапазон вимірів, Ом	0,1...1,6
Основні похибки у відсотках	
від довжини робочої частини шкали	± 10

Прилад забезпечує автоматичне розмикання вимірювального ланцюга при появі на корпусі контрольованого об'єкта небезпечного потенціала 36 В і більше (опір ланцюга фаза – нуль більше 2 Ом). Час розмикання не перевищує 0,3 с.

Споживана потужність:

в режимі підготовки – не більше 30 ВА;

в режимі виміру – не більше 4,5 кВА.

На передній панелі приладу розташовані: рахівний пристрій, кнопка «ПЕРЕВІРКА КАЛІБРОВКИ», кнопка «ВИМІР», ручка «КАЛІБРОВКА», сигнальні лампи « $Z \neq \infty$ », « $Z > 2 \text{ Ом}$ » і затиск для підключення приладу.

Електрична принципова схема приладу зображена на рис. 8.1.

Принцип дії приладу оснований на вимірі падіння напруги на відомому опорі. При підключенні приладу до контрольованого об'єкта заряджається конденсатор С3, який при натисканні кнопки «ПЕРЕВІРКА КАЛІБРОВКИ» розряджається через обмотку реле Р2. Реле Р2 спрацьовує і контактами 7, 8 вмикає розподільник напруги схеми калібрування, контактами 1, 2 шунтує сигнальну лампу « $Z > 2 \text{ Ом}$ », контактами 3, 4 готує до роботи реле Р1 і контактами 10, 11 замикає ланцюг самоблокування.

Вимір здійснюють при натисканні кнопки «ВИМІР». Спрацьовує реле Р1 і своїми контактами вмикає у вимірювальний ланцюг вантажний реостат R1. Величина падіння напруги на резисторі R1 являє собою різницю між фазною напругою і падінням напруги в ланцюзі фаза – нуль.

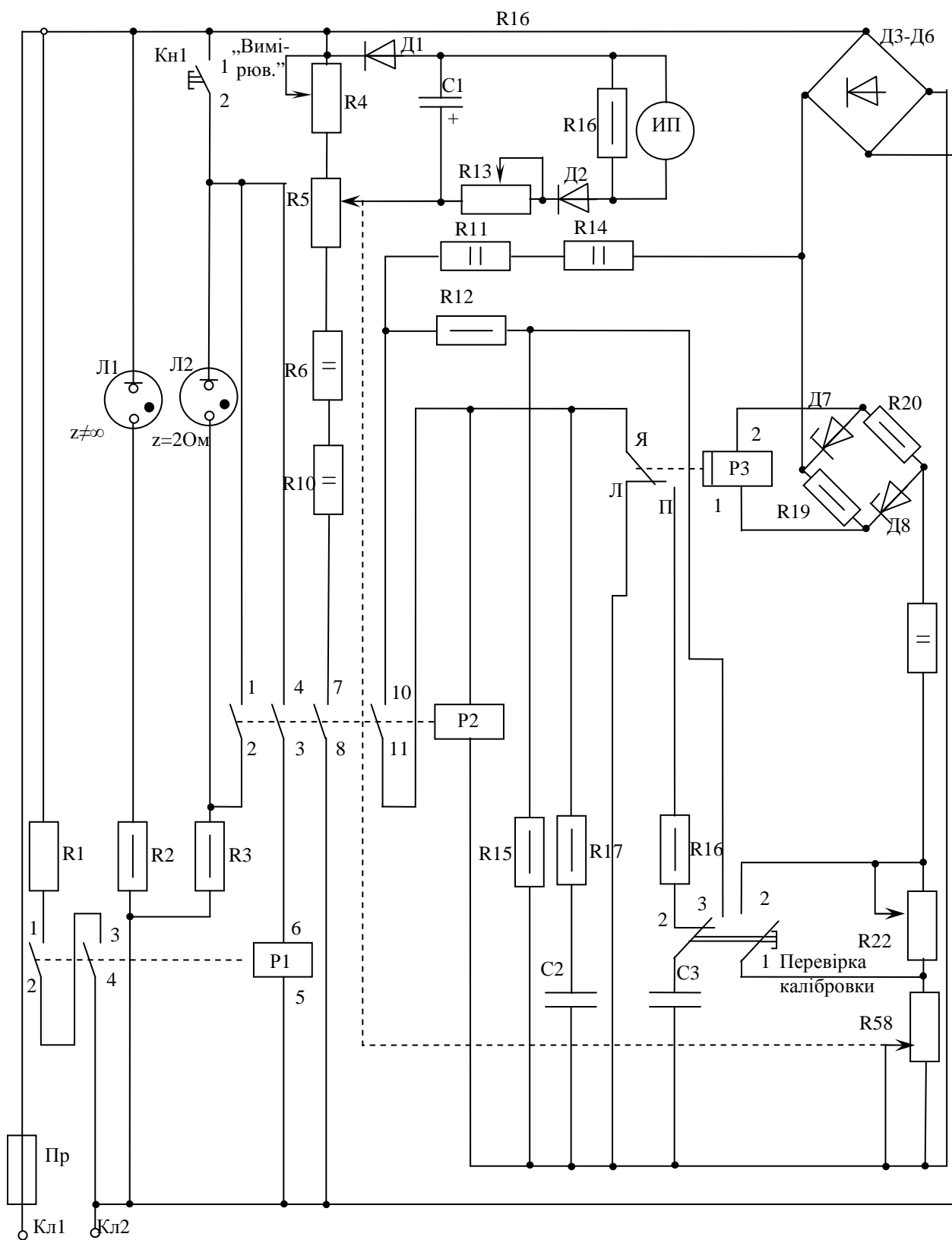


Рис. 8.1. - Принципова схема приладу М-417

Оскільки опір вантажного резистора R1 є незмінним, падіння напруги тут залежить від величини опору ланцюга фаза – нуль, що дозволяє відградувати шкалу рахівного приладу в одиницях опору.

Схема захисту забезпечує автоматичне розмикання вимірного ланцюга при появі на корпусі контрольованого об'єкта небезпечної напруги. У цьому випадку падіння напруги на резисторі R1 зменшується і в діагоналі моста Д7, Д8, R19, R20 з'являється напруга такої полярності, при якій спрацьовує реле РЗ, замикаючи контакти «Я» і «Л». При цьому реле Р2 розмикає ланцюг калібрування і ланцюг живлення реле Р1, яке відключає вантажний резистор R1.

При роботі з приладами дотримуйтесь таких заходів з техніки безпеки. З приладом повинно працювати не менше двох осіб. Якщо за умовами експлуатації неможливо відключити живильну напругу, припускається підключати прилад без зняття напруги. У цьому випадку прилад необхідно одним затискачем надійно приєднати до корпусу контрольованого об'єкта, після чого другий затискач приладу підключити до фазного провідника. Приєднання необхідно здійснювати в гумових рукавичках.

Підготовка приладу до роботи. Прилад встановлюють на горизонтальну поверхню; ручку «КАЛІБРОВКА» встановлюють у крайнє ліве положення; приєднують провідники із затискачем приладу; один провідник приєднують до корпусу контрольованого об'єкта, а другий – до однієї з фаз живильної мережі.

Порядок роботи приладу. Подають напругу на вимірювану ділянку мережі. На приладі загорається лампа « $Z \neq \infty$ »; натискають кнопку «ПЕРЕВІРКА КАЛІБРОВКИ» і ручкою «КАЛІБРОВКА» встановлюють стрілку приладу на відмітку «0»; натискають кнопку «ВИМІР» і відраховують показання за шкалою рахівного пристрою.

Величина опору ланцюга фаза – нуль дорівнює показнику приладу мінус 0,1 Ом (опір з'єднувальних проводів). Час виміру не повинен перевищувати 7 с з інтервалом між вимірами не менше 0,5 хв.

Загорання сигнальної лампи « $Z > 2 \text{ Ом}$ » при натисканні кнопки «ВИМІР» свідчить про те, що опір ланцюга фаза – нуль контрольованого об'єкта бі-

льше 2 Ос.

Повторні виміри здійснюють тільки після перевірки калібрування.

8.3. Порядок виконання роботи

Схема мережі зображена на рис. 8.2.

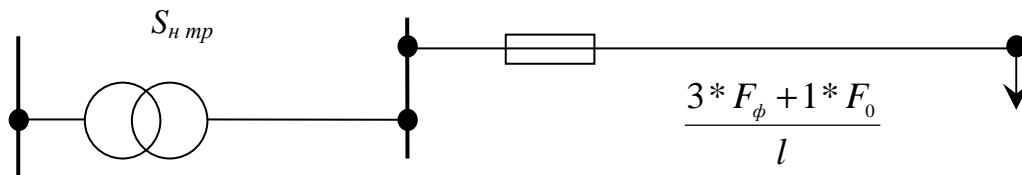


Рис. 8.2. - Схема дослідної мережі

1. Відповідно до вихідних даних для варіанта, заданого викладачем (табл. 8.1), визначити повний опір ланцюга фаза – нуль. Необхідні довідкові дані наведені в табл. 8.2-8.4.

Таблиця 8.1. - Вихідні дані, необхідні для виконання роботи

Варіант	Потужність трансформатора, кВА	Виконання лінії	Переріз фазного і нульового проводників, мм ²	Довжина лінії, км	Виконання захисту	Номінальний струм уставки захисту, А
1	100	кабельне	3*50+1*25	0,38	Запобіжник	125
2	160	те ж	3*70+1*35	0,6	Те ж	160
3	100	повітряне	3*35+1*16	0,25	Те ж	160
4	250	кабельне	3*95+1*35	0,71	Автоматична	200
5	400	те ж	3*50+1*25	0,49	Те ж	125
6	100	повітряне	3*70+1*50	0,59	Запобіжник	260
7	250	кабельне	3*50+1*25	0,465	Автоматична	125

Таблиця 8.2. - Розрахункові значення повних опорів трансформаторів зі схемою з'єднання $Y/Y_n - 12$, приведені до напруги 400/230 В (середні дані при вищій напрузі 10 кВ)

Потужність трансформатора, кВА	100	160	250	400
Повний опір трансформатора струму замикання на корпус	0,78	0,49	0,31	0,19

Таблиця 8.3. - Середнє значення індуктивних опорів петлі прямого і зворотнього проводів чи жил кабелю, Ом/км

Умови прокладання	Індуктивний опір
Кабель до 1 кВ	0,15
Повітряні лінії 0,38 кВ	0,6

Таблиця 8.4. - Активні опори проводів і жил кабелів, виконаних з алюмінію, Ом/км

Номінальний переріз	Активний опір
16	1,98
25	1,28
35	0,92
50	0,64
70	0,46
95	0,34

2. Використовуючи формулу (8.1) і прийнявши фазну напругу $U_\phi = 220$ В, встановити мінімальне значення однофазного струму короткого замикання.

3. Вивчити принцип дії і порядок роботи з приладом типу М-417.

4. На лабораторному стенді виміряти опір (Z_n') ланцюга фаза – нуль, включаючи трансформатор.

5. За формулою $I'_{к.з} = U_\phi / Z_n$ визначити струм однофазного короткого

замикання.

6. Порівняти значення $I'_{к.з}$ отримані за п. 2 і 5.

7. Використовуючи формулу (8.4), перевірити, чи задовольняє необхідне співвідношення, і сформулювати висновок про надійність дії захисного апарату.

8.4. Порядок оформлення роботи

Звіт про роботу повинен містити:

схему мережі;

результати обчислень і експериментальні дані;

висновки.

Контрольні питання:

1. Особливості розрахунку струмів короткого замикання в установках до 1000 В.
2. Вибір електричних апаратів за умовами однофазних струмів короткого замикання.
3. Принцип дії приладу М-417.
4. Правила роботи з приладом М-417.

Список літератури

1. Правила устройства электроустановок.- М.: Энергоатомиздат, 1985
2. ГОСТ 13109-87. Электрическая энергия. Требования к качеству в электрических сетях общего назначения. – М.: Узд - во стандартов, 1988.
3. Марушевич Н.С., Солдаткина Л.А. Качество напряжения в городских электрических сетях.- М.: Энергия, 1977.
4. Измеритель заземления типа МС-08. Инструкция завода «Энергоприбор».- М.: ЦБТИ
5. Найфельд М.Р. Защитные заземления в электромеханических установках.- М.: Госэнергоиздат, 1969.
6. А.П. Антипов и др. Качество электроэнергии в электрических сетях и способы его обеспечения. – М.: МЭИ, 1992.
7. А.И. Артемов. Электроснабжение цеха промышленного предприятия. – М.: МЭИ, 1990.
8. С.Д. Волобринский. Электрические нагрузки и балансы промышленных предприятий. – Л.: Энергия, 1976.
9. Б.И. Кудрин. Электроснабжение промышленных предприятий. – М.: Энергоатомиздат, 1995.
10. А.А. Федоров, В.В. Каменев. Основы электроснабжения промышленных предприятий. – М.: Энергоатомиздат, 1984.

Навчальне видання

Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт з курсу "Електропостачання міст і промислових підприємств" (для студентів 4 - 5 курсів денної і заочної форм навчання за напрямом підготовки 0906 (6.050701) Електротехніка спеціальності 7.090603, 8.090603 Електротехнічні системи електроспоживання

Укладачі: Харченко Віктор Федорович,
Воропай Валентина Григорівна

Редактор: М.З. Аляб'єв

План 2009, поз. 297 М

Підп. до друку 16.11.2009	Формат 60*84/16	Папір офісний
Друк на різнографі	Обл.- вид. арк. 3,5	Умовн.-друк.арк. 2,8
Тираж 50 прим.	Зам. №	

ХДАМГ, 61002, м. Харків, вул. Революції, 12

Сектор оперативної поліграфії ЦНІТ ХНАМГ
61002, м. Харків, вул. Революції, 12